

UB Braunschweig 84



2670-8784

**Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft**

Jahrbuch 1987

VERLAG ERICH GOLTZE GMBH & CO. KG · GÖTTINGEN
1987

Das vorliegende Jahrbuch ist beim Verlag und beim Buchhandel erhältlich.
Preis DM 20,—

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln
des Landes Niedersachsen

BWG 3300 Braunschweig
Fallersleber-Tor-Wall 16, Postfach 3329, Telefon (05 31) 3 91–45 96



ISSN 0931-1734
ISBN 3-88452-233-7

Alle Rechte vorbehalten von
Verlag Erich Goltze GmbH & Co. KG, 3400 Göttingen
1987

Gesamtherstellung: Goltze-Druck, 3400 Göttingen

Printed in the Federal Republic of Germany

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG)	7
Plenarversammlungen	9
Klassensitzungen	89
Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte	131
Kommission für Technik und Umwelt	133
Öffentliche Veranstaltungen	163
Feierliche Jahresversammlung 1987	217
Nachrufe	267
Veröffentlichungen	287
Geschäftliche Mitteilungen	287
Satzung und Geschäftsordnungen der BWG	287
Personalia	288
Todesfälle	288
Zuwahlen	288
Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille	289
Mitgliederverzeichnis	293

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolo Wilhelmina zur Errichtung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“, die – nachdem die vorgelegte Satzung von dem damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung genehmigt worden war – am 9. Dezember 1943 mit einer feierlichen Sitzung eröffnet wurde. Das zu diesem Anlaß von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die zu dieser Gründung führenden Motive. Maßgebend war bei ihnen der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird auch in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie, „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als eine selbständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt, jedoch war der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was aber wohl hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft sodann durch die Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut, sie konnte in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges besondere Aktivitäten nicht mehr entfalten. Sie bestand indessen auch nach dem Kriege unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort, jedoch wurden alsbald auch Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei von vornherein die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde, die im Kern durch Selbstergänzung, begrenzte Platzzahl und Gliederung in Fachbereiche ja bereits vorhanden war.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt, und initiiert von Prof. Dr. phil. Eduard Justi erschien 1949 der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Im gleichen Jahre verlieh die Gesellschaft erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille. 1953 erhielt die Gesellschaft schließlich den Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts. Mit dem Errichtungserlaß des Niedersächsischen Landesministeriums wurde ihr zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich noch Teile der ehemaligen Satzung erhalten geblieben waren. Erst 1971 erhielt die Gesellschaft ihre heute gültige Satzung, die sie im Geiste einer Akademie der Wissenschaften mit deut-

lich technischem Schwerpunkt auszufüllen bestrebt ist. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt. Zur Durchführung langfristiger Forschungsvorhaben hat die BWG eine Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte sowie eine Kommission für Technik und Umwelt eingesetzt. Von den jährlich erscheinenden „Abhandlungen“ sind bisher 38 Bände und in der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte 2 Bände publiziert worden. Initiiert von Prof. Dr. techn. Karl Heinrich Olsen veröffentlicht die BWG seit 1983 Jahrbücher, die insbesondere über Vortragsveranstaltungen, Kommissionstätigkeiten und Personalia berichten.

Plenarversammlungen

- 9.1.1987 in Braunschweig
Übergabe des Präsidentenamtes
Gerhard Oberbeck: „Entscheidende Phasen der Kulturlandschafts-
entwicklung in Nordwestdeutschland“
- 13.2.1987 in Braunschweig
Ulrich Willerding: „Zur paläo-ethnobotanischen Erforschung der mittel-
alterlichen Stadt“
- 13.3.1987 in Braunschweig
Hans Dieter Baehr: „Stromerzeugung durch thermische Kraftwerke –
fossil, nuklear, solar“
- 10.4.1987 in Hannover
Herbert Welling: „Der Laser – seine Bedeutung in der Wissenschaft“
- 8.5.1987 in Braunschweig
Friedrich Schaller: „Wozu brauchen wir den Amazonaswald?“
- 11.7.1987 in Clausthal-Zellerfeld
Klaus Schwerdtfeger: „Möglichkeiten zur Heißentschwefelung von
Kohlegas“
- 9.10.1987 in Braunschweig
Werner Thieme: „Rechtstechnik des Rechts der Technik“
- 13.11.1987 in Braunschweig
Harmen Thies: „Die Schönbornkapelle am Würzburger Dom. Zu Aufbau
und Genese der gruppierten (Wölbgestell-) Rotunden Balthasar
Neumanns“
- 11.12.1987 in Braunschweig
Hauptsitzung

9.1.1987 in Braunschweig

Am 1. Januar 1987 ging das Präsidentenamt von Professor Dr. Karl Heinrich Olsen auf Professor Dr. Gerhard Oberbeck über. Bei der Amtsübergabe am 9. Januar 1987 in der Dornse des Altstadtrathauses zu Braunschweig wurden drei Ansprachen und ein Vortrag gehalten, die im folgenden wiedergegeben werden.

Karl Heinrich Olsen zum Abschied

Von **Martin Gosebruch**, Vizepräsident der BWG

Es gibt Institutionen, es gibt Individuen. Institutionen wie Staat, Familie, Kirche werden vorgefunden, es sind Häuser, in die der Mensch eintritt. Haus und einzelner Mensch wirken aufeinander wechselweise. Wie der Mensch das Haus bewohnt, ist seine eigene Entscheidung, die aber normalerweise auf das Haus eingeht. Meist gelingt es, den Platz für sich im Haus zu finden, oft werden Umbauten vorgenommen, nicht ganz so oft, auch Häuser abgerissen, um entweder neugebaut zu werden oder aber, was schlimmer ist, Wüstenei zurückzulassen. Diese Institution Wissenschaftliche Gesellschaft besteht seit 1944. Derjenige ihrer Präsidenten, dessen wahrhaft herausragende Amtszeit heute beendet wird, womit die des neuen Präsidenten beginnen kann, hat in der letzten von ihm geleiteten wissenschaftlichen Sitzung Zusammenfassendes über die Wissenschaftlichen Gesellschaften als Einrichtung der Gelehrtenrepublik vorgetragen und dabei die Geschichte dieser Braunschweigischen Gesellschaft besonders herangezogen. Zu seinem größten Erstaunen hatte er feststellen müssen, daß über den Akt der Gründung außer Formalien so gut wie nichts zu ermitteln war. Ja 1944 und durch den damaligen Reichserziehungsminister ist diese Gesellschaft gegründet worden. Aber über die damit verbundenen Absichten hat wenigstens der Gründer nicht viel schriftlich festgelegt, im übrigen auch nichts, was den Ungeist des Dritten Reiches erkennen ließe. Das neue Gebilde war einfach da. Was es werden könnte, wäre nach heutigen Vorstellungen dem freien Spiel der Kräfte innerhalb des Wettbewerbs überlassen gewesen, sozusagen nach der Maxime des Try and Error. Sagen wir es nicht Englisch, so heißt es in der Bibel „Im Anfang schuf Gott Himmel und Erde“. Die Schöpfung ist da, was mit ihr beabsichtigt ist, wird jedenfalls an dieser Stelle nicht durch den Schöpfer erklärt.

Es ist auch sonst unsere Erfahrung, daß sich ein Akt von Schöpfung nicht im hellen Licht der Ratio vollzieht. In der Bibel heißt es vom Werk der Schöpfung, daß sein Urheber ihm ansah, es sei gut. Im Falle dieser Gesellschaft steht wohl fest, daß sie nicht von Gott geschaffen ist, und welchen Platz vermöchten wir schon einzunehmen, von dem aus zu sehen wäre, ob sie gut sei. Wir wissen nur, daß sie nicht besser sein kann, als wir an Kräften für sie übrig haben. Ob ihr dann auch angesehen wird, wie mehr oder

weniger gut sie sei, welches Ansehen sie also genießt, ist eine bange Frage. Jüngst stand über den Physiker Klaus von Klitzing etwas zu lesen, was sehr nachdenklich stimmen konnte. Noch vor dem Nobelpreis hatte von Klitzing seine neuesten Forschungsergebnisse einer wissenschaftlichen Zeitschrift übersandt. Die Herausgeber schickten ihm das Manuskript zurück. Einer von ihnen, Amerikaner, hatte an den Rand des vom Universitätsort Würzburg abgeschickten Scripts vielsagend notiert „Where is Würzburg?“. Damit meinte er sicherlich nicht die Postleitzahl. Ein wenig später bekam dann der Abgelehnte den Nobelpreis für Physik. Seitdem wird er seine Forschungen, von welchem Ort dieses Planeten auch immer, abschicken können und sie gedruckt bekommen. Daß er im übrigen in Braunschweig vor dem Wechsel nach Würzburg ausgebildet worden war, macht die Pointe vollständig.

Das Ansehen, das jemand oder eine Institution hat, ist nur partiell von wirklicher Leistung abhängig, zu einem guten Teil spielt Irrationales, Glauben oder Mythos hinein. „Where is Braunschweig“, das fragen sich ja die Braunschweiger selber, weil sie zum kleinen Glauben neigen.

Der Präsident, von dem heute Abschied genommen werden muß, hat stets gewußt, wie wichtig Bildung und Hebung des Selbstbewußtseins auch solcher Gesellschaft ist. Er hat auch gewußt, daß nach noch nicht einem halben Jahrhundert ein Mythos keinesfalls zu erwarten ist – oder aber er entstand in no time, um es wieder Englisch zu sagen, so wie wir es durch unsere Tennisenies gewohnt sind. Karl Heinrich Olsen hat das Ansehen der BWG beharrlich dort gemehrt, wo er es mit seinen Kräften anstreben konnte, und zwar indem er sein Zepter vorzeigte. Nicht ein schon vorgeformtes Herrschaftszeichen wie jener Herzog den Löwen als Symbol der eigenen Idee von Macht erfinden, gießen und aufstellen ließ. So etwas gibt es zugleich mit seiner ganzen Welt heute nicht mehr. Das Zeichen, das Karl Heinrich Olsen führte, war eher ein äußerlich unsichtbarer Hirtenstab. Mit der Krümme holt der Hirt das verlorene Schäflein in die Herde zurück, mit dem Schaft des Stabes regiert er, mit der Spitze stößt er die Hochmütigen darnieder. So an einem mittelalterlichen Hirtenstab zu lesen. Einer der großen Hirtenfiguren der Geschichte war übrigens im niedersächsischen Hildesheim Bischof Bernward, dessen Bild Karl Heinrich Olsen tief in sich aufgenommen hat. Als Stifter bedeutendster Werke der Kunst ist der Bischof sogar dem Löwenherzog überlegen. Karl Heinrich Olsen, der sich dem technisch-naturwissenschaftlichen Flügel dieser Gesellschaft ganz fraglos intensiv verpflichtet fühlte, wäre aber auch gern in die Fußstapfen solcher Stifter von Kunst getreten. Das macht an ihm den Sinn des Regierenden klar. In der Tat, obwohl er für seine Person kein Kunstsammler ist, hat er die BWG mit der Kunst zu verbinden verstanden.

Dafür war eine Voraussetzung nötig: Das eigene Haus, das zu schmücken wäre.

Zuvor hatte es für die BWG nur eine mehr als kümmerliche Geschäftsstelle gegeben, und die Möglichkeit im Gästehaus der TU gelegentlich Asyl zu finden. Herr Olsen ruhte nicht, bevor nicht mit Hilfe der verständigen Stadt die Villa Felmy ansehnlicher Sitz der Gesellschaft geworden war. Niemand wird behaupten, seit Beziehen der Villa wären die Vorträge in der BWG geistvoller, scharfsinniger, origineller geworden, oder die so wichtigen Wahlen zu neuen Mitgliedern bedeutender ausgefallen. Das anzu-

nehmen wäre Mystizismus. Es bleibt aber ganz einfach festzustellen, daß sich das Selbstbewußtsein mehrt, wenn man im eigenen Hause existiert. Und wie rasch gab es dann Werke der Kunst in diesem Haus, nachdem zwischen dessen Herrn und einem schöpferischen Künstler von Rang, Prof. Ernst Strassner, Freundschaft geschlossen worden war. Karl Heinrich Olsen, dieser Preuße, mit dezidiert römischer Vergangenheit, hätte vielleicht gern ein Werk der antiken Bildhauerkunst aufgestellt, etwa eine Trajanssäule so wie Bischof Bernward in seinem Dom zu Hildesheim. Aber er ist sich darüber im Klaren, daß Malerei als die nicht so endgültig-monumentale Kunst in dieses Jahrhundert besser paßt. In Toulouse existiert von Alters her die Académie des jeux floraux, der blumenreichen Spiele, das bildergezierte Braunschweiger Haus, vom Geist „der Naturwissenschaft“ wesentlich bestimmt, möchte mit seinem Musen-näheren Flügel dieser Akademie von Toulouse verwandt sein.

Aus dem Haus, wenn es gut gefügt, bestellt und geschmückt ist, tritt der Bewohner mit umso freieren Selbstbewußtsein hinaus. Karl Heinrich Olsen hat hier das neue Wirkungsfeld eines Präsidenten aufgetan.

Er ist zu den Tagungen der Deutschen Akademien beharrlich hingegangen. Er ist in Halle in der Akademie der Naturforscher Leopoldina, der ältesten deutschen, in der Mainzer Akademie, der Bayerischen in München, der Nachbarakademie in Göttingen erschienen und als Figur nach und nach markant geworden. Er hat Freundschaften in diesem Kreise geschlossen. Den unsichtbaren Bischofsstab, so werden wir sagen, hat man ihm dort angesehen. Das hat wiederum die Geltung der von ihm vertretenen Sozietät gemehrt.

Nun will ich zum Schluß noch etwas Unverwechselbares hinzufügen. Eines Tages wurde auf die Schwelle des Hauses der Gesellschaft ein Findelkind gelegt, winzig, frierend, geringe Hoffnung erweckend. Vor anderen Schwellen war es umsonst niedergelegt worden. Karl Heinrich Olsen, stets im Augenblick die Situation erfassend und mit diesem römisch konstruktiven Realitätssinn ausgestattet, holte mit der Krümme seines Hirtenstabes den Winzling ins Haus. Er taufte ihn „Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte“. Und der Hirte war auch ein tüchtiger Ziehvater, der den Findling so gut gedeihen ließ, daß diesem bald ein weiterer Sproß nachfolgte, genannt „Kommission für Technik“. Womit auch die Symmetrie zwischen Geist und Technik wieder hergestellt war.

Im vergangenen Herbst gelang es dem älteren, nun schon herangewachsenen, der beiden Findelkinder eine Tagung von Kunsthistorikern aller Länder und Systeme zwischen West und Ost im ehrwürdigen Dom Kaiser Ottos I. über der Elbe in Magdeburg zu veranstalten, die wissenschaftlich erfolgreich war und das Bewußtsein der Deutschen um geschichtliche Herkunft und Identität stärkte. Zwar von der Braunschweiger Kommission, die sich am Brückenkopf nach Osten fühlt, angeregt, war die Tagung durch das befreundete Kunsthistorische Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig organisiert worden. Anders ließen es die Behörden der DDR nicht zu, trotz Kulturvertrag. Gerade daß sie offiziell keine Kenntnis nahmen. Zum Abschluß dieser bewegenden Woche waren die Teilnehmer des Kongresses zu einem geistlichen Konzert in den Dom geladen worden. Die Veranstaltung neigte sich dem Ende zu. Was würde

nun, zu ihrem Abschluß, geschehen, da niemand offiziell die Eingeladenen vertrat, nicht die Gelehrten des Ostens, die es nicht durften, nicht die des Westens, die dafür nicht erwünscht waren. Bach war verklungen. Da war das Geräusch eines energisch geführten Stockes zu hören. Karl Heinrich Olsen hatte das Prekäre des Augenblicks gespürt, war in den Raum getreten und hatte dem Chorleiter im Namen aller Eingeladenen, westlichen wie östlichen, den Dank ausgesprochen. Da war aus Verantwortung der Stab geführt worden, den wir nun einfach Zeichen des Vaters nennen, ob immer in vaterloser Welt.

Die für einen Moment Vaterlosen fühlen sich nicht verwaist. Sie drücken dem, der sich für sie so mit allen Kräften verantwortlich gefühlt hat, von Herzen ihren Dank aus, und sie wissen auch schon, wer als fähiger Nachfolger für sie bereitsteht. Einen anderen Weg, den seinen, wird er nehmen an der Spitze der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Möge ihm nicht geringerer Erfolg, nicht geringere Selbsterfüllung dabei beschieden sein.

Grußwort

Von **MR Wolf-Rüdiger Wilke**,
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst

Verehrter Herr Professor Olsen,
sehr geehrter Herr Professor Oberbeck,
Herr Professor Gosebruch,
meine Damen und Herren,

Herr Minister Dr. Cassens hat mir die ehrenvolle Aufgabe übertragen, Ihnen seine ganz persönlichen Grüße und die Grüße der Niedersächsischen Landesregierung anlässlich dieser Amtsübergabe zu überbringen. Der Herr Minister bedauert sehr, nicht selbst an dieser Feierstunde teilnehmen zu können.

Minister Dr. Cassens hat wiederholt deutlich gemacht, daß die Niedersächsische Landesregierung der Arbeit freier wissenschaftlicher Vereinigungen wie der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft eine herausragende Bedeutung zumißt. In einer Zeit, in der der Beitrag der Forschung für die Gestaltung unserer Zukunft zunehmend erkannt und gewürdigt wird, ist es unerläßlich, den wissenschaftlichen Dialog, insbesondere über die Grenzen des jeweiligen engen Fachgebietes hinweg, zu fördern und zu vertiefen.

Gelehrte Vereinigungen wie die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft haben hier eine außerordentlich wichtige Funktion: Es gibt nur wenige Einrichtungen, die sich in vergleichbarer Breite auch interdisziplinär mit den Wissenschaften beschäftigen. Dabei – und dies erscheint in unserer schnelllebigen Zeit besonders wichtig – spielen in unseren wissenschaftlichen Vereinigungen Kontinuität der Arbeit und Tradition eine besondere Rolle. Die hohe wissenschaftliche Kompetenz der in Klassen gegliederten, ihre Mitglieder in freier Selbstbestimmung wählenden Einrichtungen wie die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft machen diese zu Zentren und Schwerpunkten wissenschaftlicher Diskussion und intensiver Forschungsarbeit. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft verkörpert diese Eigenschaften trotz ihres im Verhältnis zu den meisten Akademien der Wissenschaften jugendlichen Alters.

Daß sie diesen Standard erreichen konnte, ist nicht zuletzt Ihr Verdienst, Herr Professor Olsen. Ganz wesentlich haben Sie dazu beigetragen, daß die Gesellschaft Ansehen und Renommee gewonnen hat. Sie sorgten zunächst einmal für ein würdiges Domizil für die Gesellschaft und knüpften eine Vielzahl wichtiger Kontakte. Seit nunmehr 12 Jahren bestimmten Sie an maßgeblicher Stelle die Geschicke der Gesellschaft mit. Das Amt des Generalsekretärs übten sie, im November 1974 in Nachfolge von Herrn Professor Beuermann übernommen, bis Ende 1980 aus. Seit dem 1. 1. 1981 waren Sie Präsident der Gesellschaft.

Dies ist eine lange Zeit ehrenamtlichen Einsatzes, für den Herr Minister Cassens mich gebeten hat, Ihnen seinen besonderen Dank auszusprechen. Sie haben sich um die Wissenschaften im Lande Niedersachsen und insbesondere im Dreieck der bedeutenden Technischen Hochschulen Hannover, Braunschweig und Clausthal verdient gemacht. Nachdem die Wirren des Krieges und der Nachkriegszeit Sie in den Braunschweiger Raum verschlagen hatten, wirkten Sie maßgeblich mit, den wissenschaftlichen Ruf dieses Raumes zu seinem heutigen hohen Niveau zu verhelfen. Bereits 1946 begannen Sie bei der Forschungsanstalt für Landwirtschaft als Experte für Betriebslehre und Wirtschaftsgeographie. In die Annalen der Technischen Hochschule Braunschweig schrieben Sie sich noch in den vierziger Jahren mit Lehraufträgen, später als Professor ein. 1959–1965 waren Sie Präsident der Deutschen Akademie für Raumforschung und Landesplanung in Hannover. Sie übten schon dieses Amt ehrenamtlich, d. h. im Interesse der Sache und unter Hintanstellung privater Belange aus. Eine Geisteshaltung, der auch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft so viel zu verdanken hat. Das Leben der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft als einer Körperschaft des öffentlichen Rechts – in diesen Rang wurde sie 1953 erhoben – haben Sie während rund eines Drittels seiner bisherigen Dauer mitgeprägt. Als Sie 1974 Ihr erstes Amt in der BWG übernahmen, belief sich deren Haushalt auf ganze 54.000 DM.

1987 sieht ihr Grundhaushalt ein Volumen von 233.700 DM und einen etatisierten, d. h. gesicherten Landeszuschuß in Höhe von 151.400 DM vor.

Dies ist eine Steigerung, auf die Sie stolz sein können, denn auch diese spiegelt Ihre Leistungen für die BWG wieder.

Wenn Braunschweig für sich heute in Anspruch nehmen kann, hier sei „die Forschung zu Hause“, so hat sie dieses besonders dem großen Engagement und unermüdlichen persönlichen Einsatz von Wissenschaftlern Ihrer Prägung zu verdanken. Das „Forschungsland Niedersachsen“ braucht engagierte Wissenschaftler Ihrer Qualität, um diesem Anspruch auch in Zukunft gerecht werden zu können. Sie sind der lebende Beweis dafür, daß es sie hier bereits gibt!

Sie, Herr Professor Oberbeck, treten ein verpflichtendes aber auch wohlbestelltes Erbe an. Ihr Vorgänger hat sein Amt dank günstiger Umstände quasi hauptberuflich ausüben können; Ihnen wird dieses nicht möglich sein.

Nach meinen Informationen lehren Sie in Hamburg Geographie und Wirtschaftsgeographie, haben aber Ihren Wohnsitz in Hamburg und Niedersachsen. Ich freue mich, daß Sie sich trotz der räumlichen Ferne Ihres Dienstortes zu Braunschweig bereitgefunden haben, das Präsidentenamt der BWG zu übernehmen und Herrn Professor Olsen hier wie schon bei der Deutschen Akademie für Raumforschung und Landesplanung nachzufolgen. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat vor einigen Jahren eine „Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte“ eingesetzt. Sie verfolgte mit diesem Akt nach ihrem eigenen Bekunden u. a. den Zweck, einen „Beitrag zur Bildung eines niedersächsischen Selbstbewußtseins zu leisten“. Der Herr Minister hat dies seinerzeit mit besonderer Freude gesehen und hofft, daß auch Sie als „Wohnwahniedersachse“ dieses Ziel weiterverfolgen. Er wünscht Ihnen des-

halb in besonderem Maße Glück und Erfolg. Seien Sie versichert, daß mein Haus alles ihm Mögliche tun wird, Sie in Ihrer Arbeit zum Wohle der BWG zu unterstützen.

Gestatten Sie mir zum Abschluß, Herr Professor Olsen, mich als Leiter des zuständigen Referates „Forschungsförderung“ im MWK dem Dank des Herrn Ministers für Ihr Engagement in der BWG und den guten Wünschen für Ihre Präsidentschaft, Herr Professor Oberbeck, anzuschließen.

Ansprache des scheidenden Präsidenten **Prof. Dr. rer. techn. habil. Karl Heinrich Olsen**

Zunächst habe ich zu danken für die vielen Freundlichkeiten, die meine Herren Vorredner meinem Wirken und meiner Person gewidmet haben. Ihnen, Herr Wilke, der Sie mir die Grüße des Herrn Niedersächsischen Ministers für Wissenschaft und Kunst Dr. Cassens und seines Hauses übermittelt haben, mit dem unsere Gesellschaft auf das engste verbunden ist, sorgt es doch durch einen Haushaltszuschuß für unsere gesellschaftliche Existenz und für die Entfaltung wissenschaftlicher Aktivitäten. In diesem Zusammenhang habe ich zu danken für das Entgegenkommen des Ministeriums für Wissenschaft und Kunst, das der BWG und mir während meiner Präsidentschaft zuteil geworden ist, und ich bitte Sie, Herrn Minister Dr. Cassens meinen Dank und meine Grüße zu übermitteln, verbunden mit meiner Bitte, sein Wohlwollen auch auf meinen Nachfolger zu übertragen.

Mein nächster Dank gilt dem Oberbürgermeister der Stadt Braunschweig, Herrn Glogowski sowie dem von ihm vertretenen Rat und der Verwaltung der Stadt. Ihr und ihren Vertretern habe ich ebenso wie dem Herrn Minister für mancherlei Unterstützung unserer Gesellschaft und meiner Person zu danken, ohne die es uns schwergefallen wäre, Existenz und Aktivitäten in angemessener und würdiger Form darzubieten. Ich darf in diesem Zusammenhang nur an die uns von der Stadt vermieteten oder fallweise unentgeltlich überlassenen Räumlichkeiten wie diesen festlichen Raum, das Schloß Richmond oder an unsere Geschäftsstelle am Fellersleber-Torwall erinnern.

Ich bin, fast auf den Tag genau, vor 40 Jahren in die mir damals praktisch unbekannte Stadt Braunschweig und damit zugleich in das seinerzeit noch brandneue Land Niedersachsen gekommen. Die Stadt, vom Krieg noch schwer gezeichnet, bot sich als neue Heimat nicht gerade freundlich werbend an, und also dachte ich auch nicht an einen längeren Aufenthalt hier. Inzwischen sind aus diesem – wie ich glaubte Interim – 4 Jahrzehnte geworden, so daß ich den größeren Teil meines Lebens in dieser Stadt und in diesem Lande zugebracht habe, beide sind mir mittlerweile echte Heimat geworden, und ich habe – um Goethe abzuwandeln „mein Sach’ auf Braunschweig gestellt“.

Mein weiterer Dank gilt Ihnen, lieber Herr Präsident Rebe, und in Ihrer Person unserer Carolo Wilhelmina, an die ich mich – im Rahmen meiner 1939 begonnenen Hochschullehrerlaufbahn 1954 umhabilitieren und an der ich meine dritte *venia legendi* – die für Wirtschaftsgeographie – erwerben konnte. Fast 20 Jahre lang, oder rund 40 Semester bin ich hier meinen Lehrverpflichtungen durch die Veranstaltung von Vorlesungen, Übungen, Besichtigungen und Exkursionen nachgekommen, und ich freue mich, bemerken zu können, daß einige meiner Schüler hier heute anwesend sind, obwohl ich seit 1974 keine Lehrveranstaltung mehr durchführe.

Neben meinem schuldigen Dank gilt dem Lande, der Stadt und der Carolo Wilhelmina mein ernstester Wunsch nach gedeihlicher Fortentwicklung im Rahmen äußeren

und inneren Friedens sowie weitreichender Anerkennung, wobei ich wünschen möchte, daß diese Region im Umland des hercynischen Gebirges an ihre mittelalterliche Bedeutung für das Reich anknüpfen könnte.

Besonders schwer fällt es mir, Ihnen, lieber Herr Gosebruch, für Ihre so warmherzige Laudatio angemessen zu danken, mischen sich in Ihre Würdigung meines Wirkens für die BWG und deren Organe doch so viele Aspekte persönlicher, über das Amt hinausgehender Freundschaft, die auch mit den schönsten Worten nicht abzugelten sind. Wohl waren wesentliche Kernpunkte unserer Beziehungen vorzugsweise die BWG, deren Klasse für Geisteswissenschaften oder die Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, über deren Bedürfnisse und Entwicklungsmöglichkeiten Sie als Vizepräsident und Vorsitzender der genannten Gremien mit mir zu verhandeln hatten. Aber über diese institutionellen Kontakte hinaus blieben eben zahlreiche zwischenmenschliche Berührungspunkte, die aus einer oft, wenn auch nicht immer gleichartigen Betrachtungsweise und Beurteilung des näheren oder fernerer Weltgeschehens resultierten. Seien Sie versichert, daß ich gerade diese Beziehungen als kostbaren Schatz für alle Zukunft hüten werde. Im übrigen kann ich nur hoffen, daß ich dem Bild, das Sie von meiner Person und von meinem Wirken gezeichnet haben, wenigstens ein bißchen entsprechen konnte.

Als mir Anfang 1967, also fast genau vor 20 Jahren, die große Ehre zuteil wurde, zum ordentlichen Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft berufen zu werden, ahnte ich noch nicht, daß damit ein zwar später, nichtsdestoweniger aber bedeutender Abschnitt meines Lebens seinen Anfang nahm. Zunächst freilich verlief alles in dem bei der Gesellschaft üblichen Rahmen. Nachdem ich ein kurzes Statement über meine wissenschaftliche Tätigkeit vor dem Plenum abgegeben hatte, nahm ich regelmäßig an den Gauß-Gedenkfeiern und gelegentlich auch an Plenarversammlungen und Klassensitzungen teil, ohne daß sich daraus irgendwelche Weiterungen ergaben. Umso erstaunter war ich deshalb, als mir 1973 unser verstorbener Kollege Zimmermann im Auftrag der Klasse für Bauwissenschaften den Vorsitz dieser Klasse anbot. Dazu verspürte ich allerdings zunächst wenig Lust. Ich war zwar bereits in den Ruhestand getreten, aber nach verschiedenen Forschungsaufgaben im europäischen Ausland, nach 6jähriger ehrenamtlicher Tätigkeit als Präsident der Akademie für Raumforschung und Landesplanung und rund 10jähriger hauptamtlicher Tätigkeit als Generalsekretär der Forschungsanstalt für Landwirtschaft schien ich mich genug betätigt zu haben, zumal eine 2jährige arbeitsaufwendige Teilnahme an der Kommission für die Neugliederung des Bundesgebiets nach Art. 29 GG gerade beendet war, ich restlichen Lehrverpflichtungen an der T.H. Braunschweig noch nachzukommen hatte und eine Arbeit über die Stadt Rom auf ihren Abschluß wartete. Schließlich gab ich dem mehrfachen Drängen der genannten Klasse dann doch nach und übernahm deren Vorsitz in den Jahren 1973 und 1974.

Bemüht, die Klasse zu etwas intensiverer Tätigkeit zu animieren, wobei mich die verstorbenen Kollegen Göderitz und Lagershausen sowie die Kollegen Wortmann, Henn, Gerke und Duddeck wesentlich unterstützt haben, konnte eine ganze Reihe von interessanten Klassensitzungen absolviert werden. Zugleich war ich als Klassenvor-

sitzender aber auch ex officio Mitglied des Verwaltungsausschusses, der damals einige besonders schwierige Probleme zu lösen hatte, da Stadt und Landesregierung eine ausreichende Alimentierung der Gesellschaft zumindest infrage stellten. In dieser Situation ergab sich eine besonders enge und fruchtbare Zusammenarbeit mit dem 1972 bis 1977 amtierenden Präsidenten Gerke, den ich dann 1974 bis 1977 als Generalsekretär begleiten durfte. In diese Zeit fiel die große 200-Jahr-Gedenkfeier für Carl Friedrich Gauß mit der Verleihung von 3 Gauß-Medaillen und der Beteiligung von namhaften Gelehrten des In- und Auslandes.

Nicht zuletzt diese Veranstaltung gab Herrn Gerke und mir Anlaß und Möglichkeit, die BWG auf eine breitere Basis zu stellen und sie durch eine straffere Organisation und Knüpfung neuer Kontakte zu aktivieren. 1980 wurde ich schließlich in das Amt des Präsidenten der Gesellschaft gewählt, das ich heute Herrn Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Oberbeck übergeben darf.

Natürlich ist in den 15 Jahren, von denen ich gesprochen habe, so manches geschehen. Der Haushalt der Gesellschaft konnte, soweit nicht noch drastische Einschränkungen zu erwarten sind, dank der Förderung durch das Land Niedersachsen einigermaßen konsolidiert werden. Die Gesellschaft, einstmals durch die Technische Hochschule mehr schlecht als recht untergebracht, residiert durch das Entgegenkommen der Stadt Braunschweig in angemessener Umgebung und Räumen, regelmäßige Plenar- und Klassensitzungen, 2 Kommissionen für „Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte“ sowie für „Technik und Umwelt“ fördern den Zusammenhalt. Von der Tätigkeit der Gesellschaft künden deren alljährlich erscheinenden „Abhandlungen“ sowie die seit 1983 als Ersatz für die „Sitzungsberichte und Mitteilungen“ publizierten Jahrbücher sowie Publikationen der Kommissionen, und schließlich sind engere Kontakte zu bedeutenden wissenschaftlichen Institutionen wie den Akademien der Wissenschaften, verschiedenen Hohen Schulen und anderen wissenschaftlichen Gesellschaften geknüpft und verstärkt worden.

Natürlich ist mit dem Scheiden aus einem gewohnten und lieb gewordenen Amt stets auch eine gewisse Wehmut verbunden. Ein Amtswechsel aber muß sein, einmal um der Institution willen, die sich keine versteinerten Strukturen leisten darf, zum anderen aber auch im Interesse des Amtsinhabers, der sich nach der Mahnung Nietzsches richten sollte, der da im Zarathustra befand: „Und jeder, der Ruhm haben will, muß sich beizeiten von der Ehre verabschieden und die schwere Kunst üben, zur rechten Zeit zu gehen“.

Ich verdanke der BWG – noch während meines Ruhestandes – 15 fruchtbare Jahre, die mir viele wertvolle menschliche Beziehungen und manche neuen Erkenntnisse beschert haben.

Mir bleibt heute nur nochmals Dank zu sagen für die weitreichende Unterstützung, die ich in meinen Ämtern der Gesellschaft von vielen Seiten empfangen habe, von der Landes- und Bezirksregierung, von der Stadt Braunschweig und vielen Wissenschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Institutionen, besonders aber von den Altpräsidenten Inhoffen, Justi, Kroepelin, Koeßler, Blenk, Gerke und Wilhelm, von den mein Präsidentenamt begleitenden Generalsekretären Wannagat, Kanold und Richter

und den jeweiligen Klassenvorsitzenden sowie schließlich den ordentlichen und korrespondierenden Mitgliedern, die meine Vorschläge und Anträge stets durch eindrucksvolle Mehrheiten gebilligt und bestätigt haben. Durch eine sinnvolle Neuorganisation der Gesellschaft ist Vorsorge getroffen worden, daß die Geschäfte auch bei durch ihre Universitätsverpflichtungen enger gebundenen Amtsträger, vor allem des Präsidenten und des Generalsekretärs, nach bewährtem Muster fortgeführt werden. So darf ich – ohne Sorge um die Zukunft unserer Gesellschaft – Herrn Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Oberbeck nunmehr bitten, die Insignie seines Präsidentenamtes zu empfangen. (Übergabe der Amtskette)

Herr Präsident, ich wünsche Ihnen eine glückliche Hand in der Leitung unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Möge es Ihnen vergönnt sein, sie zu weiteren wissenschaftlichen Erfolgen und Mehrung ihrer institutionellen Anerkennung zu führen.

Entscheidende Phasen der Kulturlandschaftsentwicklung in Nordwestdeutschland

Von **Gerhard Oberbeck**

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

das gewählte Thema interpretiere ich in erster Linie als einen geographischen und nicht als einen historischen Problembereich. Diese sicherlich nicht sogleich einleuchtende Sicht soll folgendermaßen begründet werden:

- a) Wenn ein Geograph sich sowohl mit der Genese als auch mit der zukünftigen Gestaltung der Kulturlandschaft und damit der Landschaftsentwicklung beschäftigt, so ist dieses sachlich fundiert nur möglich unter Berücksichtigung der Ursachen, der entscheidenden Zeitabschnitte, der Kräfte und Prozesse, die zum gegenwärtigen Zustand als Ausgangsbasis für die weitere Entwicklung geführt haben. Diese Arbeitsweise wird bekanntlich als die kausalgenetische bezeichnet.
- b) Die Entwicklung von der *Naturlandschaft* zur dominierend vom Menschen gestalteten *Kulturlandschaft* ist nicht kontinuierlich erfolgt; sie vollzog sich vielmehr „wellenförmig“: Auf Perioden großer Aktivitäten des Menschen folgten Rückschläge bis hin zu sogenannten „negativen“ Siedlungsperioden.
- c) Die Berechtigung für die Behandlung dieses Themas liegt in den zahlreichen siedlungs- und stadtgeographischen Untersuchungen, die vor allem seit dem zweiten Weltkrieg von den Geographischen Instituten Göttingen, Braunschweig, Hannover und Hamburg zu diesem Themenkreis vorgelegt worden sind. Auch im Rahmen der Historischen Kommission für Niedersachsen und des Arbeitskreises für Mitteleuropäische Kulturlandschaftsforschung sind diese Fragen immer wieder von zentraler Bedeutung gewesen.

Inhaltlich soll auf folgende Gesichtspunkte und Fragen – natürlich, ohne sie ausdiskutieren zu können – eingegangen werden:

- 1) Welche naturgeographischen Fakten haben sich für die Besiedlung Nordwestdeutschlands als dominierend oder zumindest als beeinflussend herausgestellt?
- 2) Wann setzt eine kontinuierliche Besiedlung im ländlichen Bereich ein?
- 3) Wie ist die Entwicklung der ländlichen Siedlungen verlaufen?
- 4) Welche entscheidenden Vorgänge haben die Entwicklung unserer Städte geprägt?
- 5) Welche Veränderungen in der Kulturlandschaft zeichnen sich im Spätmittelalter bis Ende des 15. Jahrhunderts ab?
- 6) Wie ist die Entstehung der Lüneburger Heide zu interpretieren?
- 7) Die Bedeutung der frühen Neuzeit (16. und 17. Jahrhundert)

- 8) Das 19. Jahrhundert mit seinen wirtschaftlichen und sozialen Umstrukturierungen
- 9) Das 20. Jahrhundert – ein Jahrhundert der Planung?

Zu 1):

Die angeschnittenen Fragen lassen sich, wenn man Norddeutschland von Norden nach Süden analysiert, in folgenden kurzen Charakteristiken beantworten:

Zunächst ist es der Unterschied zwischen Jungmoränen- und Altmoränengebiet, der die Landschaft prägt. Die Jungmoränen erstrecken sich bis zum Elbe-Urstromtal mit dem Ergebnis, daß wir nördlich der Elblinie neben den glazialen Rinnenseen hauptsächlich Grund- und Endmoränen haben, die sich in sehr starkem Maße auf die gesamte Siedlungsstruktur ausgewirkt haben. Südlich der Elblinie sind es besonders die Auswirkungen des Warthestadiums der Saale-Eiszeit, wobei sich der Endmoränenrücken von den Schwarzen Bergen bei Harburg über den Wilseder Berg, den Lüß, den Knesebecker Forst, den Fläming bis nach Breslau hin abzeichnet. Vor dem Endmoränenbereich erstrecken sich die Sanderflächen in den Übergangszonen zu den sie begrenzenden Flüssen und Bachläufen, die zur Anlage von Dörfern geführt haben.

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist der Verlauf der Lößgrenze, der besonders die Linie Osnabrück – Hannover – Braunschweig – Helmstedt charakterisiert und nördlich und südlich sehr unterschiedliche Strukturen ländlicher Siedlungen hat entstehen lassen.

Schließlich sollte man die im Zusammenhang mit den verschiedenen Eiszeiten entstandenen Akkumulationsterrassen in den Blickpunkt rücken, von denen besonders die Niederterrassen in Nordwestdeutschland ausgeprägt und an deren Rand die frühesten ländlichen Siedlungen in der Regel anzutreffen sind. Das Niedersächsische Berg- und Hügelland mit dem Harz als altem Kern (variskisch) wurde vom Ende der Kreidezeit bis zum Tertiär alpid-saxonisch gefaltet; es hat der Lage der ländlichen Siedlungen entscheidende Akzente ihrer Entwicklung naturgeographisch vorgezeichnet.

Zu 2):

Die Frage nach dem Beginn der kontinuierlichen Besiedlung des ländlichen Raumes, d.h. nach dem Problem, wie weit unsere heute noch bestehenden Dörfer in die Vergangenheit zurückreichen, ist – in aller Vorsicht – folgendermaßen zu beantworten: Die frühesten Spuren finden ihren Hinweis bei den Wurt-Dörfern in den Marschen der deutschen Nordseeküste, so z.B. zwischen Wilhelmshaven und Emden, in der „Krumhörn“; sie sind bis ins 1. Jahrhundert n. Chr., ja, zum Teil bis ins 1. vorchristliche Jahrhundert nachzuweisen. Nach jüngeren Untersuchungen und auch nach den Ergebnissen der Holländer, – z.B. durch van Giffen, – liegt im Groninger Gebiet dieser Beginn im 2. vorchristlichen Jahrhundert. Weiter zurückreichende ländliche Siedlungen, die bis in die heutige Zeit existieren, kennen wir nicht.

Zu 3):

Die Entwicklung der ländlichen Siedlungen läßt sich – obwohl diese Frage von manchen Autoren auch anders beantwortet wird – im wesentlichen in drei Perioden zusammenfassen:

- a) die Periode der Landnahme (ca. um Christi Geburt bis ca. 500 n. Chr.)
- b) die ältere Rode-Periode (500–800 n. Chr.)
- c) die jüngere Rode-Periode (800–1200/1300 n. Chr.)

Die Entwicklung der ländlichen Siedlungen hat mit dem 12. bis 13. Jahrhundert einen Höhepunkt erreicht; entsprechend der Bevölkerungszunahme sind im Laufe der vorhergehenden Jahrhunderte zahlreiche Siedlungen entstanden mit dem Ergebnis, daß die Anzahl der ländlichen Siedlungen in Nordwestdeutschland wesentlich größer war als heute. Bei beträchtlicher räumlicher Differenzierung kann man mit einem Wüstungsquotienten von 25 bis 45 rechnen. Das bedeutet, daß von 100 Siedlungen, die um etwa 1200 vorhanden waren, heute noch 55 bis 75 existieren. Daß diese Dörfer heute wesentlich größer sind und über eine höhere Einwohnerzahl verfügen als diejenigen des 12. Jahrhunderts, muß nicht besonders betont werden; dies ist selbstverständlich.

Wer sich mit der Quellenlage des Mittelalters auseinandersetzt, weiß, wie spärlich urkundliche Nachrichten aus der Zeit vor dem 13. Jahrhundert sind. Selbstverständlich wird von spektakulären Ereignissen, wie z. B. den Kriegszügen Karls d. Gr. im 8. Jahrhundert, von den Kämpfen Heinrichs d. Löwen im 12. Jahrhundert berichtet. Aber diese Berichte helfen wenig, um über den Zustand der Kulturlandschaft, der uns besonders interessiert, etwas auszusagen. Es bleiben nur die beiden bekannten Methoden:

- a) die archäologische Methode im Hinblick auf die Fixierung von Tonscherben und deren Analyse; angefangen von Grimm und Engel, ist besonders Jankuhn und seiner großen Zahl von Schülern zu danken, denen es gelungen ist, hier wesentlich Neues und eine Festigung der Stratigraphie zu erreichen;
- b) die Deutung von Ortsnamen, bei denen man ja zwischen dem Grund- und dem Bestimmungswort unterscheidet. Da die Ortsnamengruppen nur für bestimmte Zeiten in der Regel gebräuchlich waren, gibt es hier eine, wenn auch nicht hundertprozentig verlässliche Methode, um eine zeitliche Einordnung vorzunehmen.

Als Beispiele seien genannt:

1. Periode der Landnahme: Grundworte auf

-mar	-lar
-ithi	-affar
-leben	-ingen
-stedt	-heim

(z. T. auch ältere
und beginnende
jüngere Rodeperiode)
2. Ältere Rodeperiode:

-heim	-bach oder -bek
-furt	-diek
-wedel	-feld
-dorf	-hausen
-büttel	
3. Jüngere Rodeperiode:

-rode	-kamp
-berg	-horst

-lege	-loh
-hagen	-brook
-hain	-wörde
-brück	-burg
-hof	

Diese Aufgliederung zeigt – wie bereits erwähnt, – daß die Aufsiedlung um 1200/1300 praktisch beendet war. In späteren Jahren wurden nur noch höher gelegene Gebirgs-
gegenden (16. oder 17. Jahrhundert der Harz) oder aber Moorkolonien (18. und
Beginn des 19. Jahrhunderts und nach neueren Feststellungen von Nitz auch im 16. und
17. Jahrhundert) angelegt.

Das 12. und 13. Jahrhundert war im Zuge der Aufsiedlung besonders deswegen
interessant, weil nicht nur ungeregelt gesiedelt, sondern hauptsächlich planmäßig unter
leitender Hand Land in Nutzung genommen wurde. Dazu gehören die Hagenhufen-
dörfer in Schaumburg-Lippe der Grafen v. Schaumburg, südlich des Steinhuder Meeres;
dort handelt es sich um Vorformen der Waldhufensiedlungen (Mortensen), die von den
Locatores dann in den ehemals deutschen Ostgebieten angelegt worden waren. Ferner
sind die Marschhufendörfer zu nennen, die Ende des 12. Jahrhunderts durch die Initia-
tive des Bischofs Adalbert von Bremen von holländischen Siedlern in unseren Flußmar-
schen angelegt und dann später auch im Zusammenhang mit Einpolderungen vor der
schleswig-holsteinischen Küste (Haseldorfer Marsch, Wilster Marsch, Kremper Marsch
etc.) ausgeweitet wurden. Auch unsere Marschsiedlungen im Alten Land und in den
Vierlanden, die in der darauffolgenden Zeit entstanden, müssen hier genannt werden.

Von beträchtlichem Ausmaß ist die Ausweitung des deutschen Siedlungslandes im
12. Jahrhundert gegen Osten, und zwar unter der Direktive Heinrichs des Löwen (1129–
1195) von Braunschweig aus. In der damaligen Zeit entstand der Typ der Sackgassen-
und Runddörfer, zeitweise auch „Rundlinge“ genannt, die im Hannoverschen Wend-
land und bis in den Raum Wolfsburg, sowie um Helmstedt die Übergangszone zwischen
deutschen und slavischen Besiedlungen charakterisierten. Ob diese Siedlungen insge-
samt erst im 11., 12. und 13. Jahrhundert angelegt wurden oder aber in einer nicht unbe-
trächtlichen Anzahl auch schon bis ins 8. oder 7. Jahrhundert zurückgehen (Zusam-
menbruch des Thüringischen Reiches), ist noch nicht restlich geklärt. Zusammen-
gefaßt ergibt sich folgendes:

Die *Periode der Landnahme* (vor 500 n.Chr.) ist in den Anfängen ausgewiesen
durch die Wurtensiedlungen (van Giffen, Groningen, 2. vorchristliches Jahrhundert;
und Haarnagel, 1. vorchristliches Jahrhundert). Bemerkenswert ist insgesamt eine teil-
weise Häufung von Ortsnamen gleicher Endung in bestimmten Gebieten, so z. B. von
-leben-Namen in der Magdeburger Börde oder der -stedt-Orte in Holstein und auch im
Braunschweigischen.

In der *älteren Rodeperiode* (500–800 n.Chr.) (erster Höhepunkt der Aktivitäten)
folgte dann ein intensiver Ausbau des Alt-Siedlungslandes. Dabei wurde das Besied-
lungsgebiet ausgeweitet. Allerdings drangen auch königliche und klösterliche Koloni-
sationen in die niedrigen Gebirgsregionen ein und begannen dort mit der Rodung.

Die Siedlungen dieser Zeit sind in erster Linie entlang den Flüssen und dort speziell auf den glazial bedingten akkumulativen Niederterrassen (Weichselglazial) anzutreffen.

Besonders erwähnenswert ist noch die Gruppe der -büttel-Siedlungen, deren Entstehung durch jüngere Untersuchungen ins 7. und 8. Jahrhundert datiert wird, ein Zeitpunkt, der auch von historischer, sprachgenetischer und frühgeschichtlicher Seite heute als gesichert gilt.

Während der *jüngeren Rodeperiode* (800–1200/1300 n.Chr.) wurde insbesondere vom 11. Jahrhundert an mit verstärkter Tatkraft der Wald gerodet (Ortsnamen auf -rode). Zum Teil erfolgte dieser Vorgang unter herrschaftlichem Einfluß. Vor allem aber waren es die Klöster, durch die weite Gebiete bisher ungünstiger Böden besiedelt wurden. Es läßt sich hierbei eine ziemlich straffe Organisation der Siedlungsnahme feststellen.

Mit dem 12. Jahrhundert war im Altsiedlungsland ein Höhepunkt erreicht, bei dem vor allem in Norddeutschland – auch in der Lüneburger Heide – viel Getreide angebaut und über die Flüsse an die Küste nach Skandinavien exportiert wurde. Man bezeichnet diesen Zeitabschnitt daher auch als die Periode der „Vergetreidung“. Dieser Höhepunkt ging in der darauffolgenden Zeit relativ schnell über in die *Periode der Entsiedlung oder Wüstung*, auf die im einzelnen noch näher einzugehen sein wird.

Die Sozialstruktur innerhalb unserer Dörfer bestand im wesentlichen aus einer einheitlichen Schicht von *Ackerleuten* oder *Höfnern* oder *Meiern*. Die sozial geringere und wirtschaftlich weniger bedeutsame Schicht der *Kötner* kam wahrscheinlich erst im 13. und 14. Jahrhundert auf; die *Brinksitzer* gab es seit dem 30jährigen Kriege und die *An- und Abbauer* etwa seit dem 17. Jahrhundert.

Zu 4):

Nordwestdeutschland hat nicht den übergroßen Reichtum an Städten wie z.B. Franken oder Schwaben; auch römische Gründungen fehlen selbstverständlich. Das liegt zum Teil an der historischen Entwicklung, zum anderen Teil aber auch an der weniger günstigen naturgeographischen Ausstattung des Raumes. Die Kernfrage der Stadtgeographie ist dabei immer – wenn wir nach der Zeit und den Gründen für die Stadtentstehung fragen –: Handelt es sich um gewordene Städte oder um gegründete Städte?

Dabei sollen unter ersteren solche verstanden werden, die sich gewissermaßen aus „wilder Wurzel“ entwickelt haben, d.h. zum Beispiel aus einem Dorf oder aus einem Handelsplatz. Die bewußt und häufig planmäßig angelegten Städte verdanken einem Gründungsakt – auch z.B. im Zusammenhang mit der Anlage von fränkischen Königshöfen – ihre Entstehung.

Zunächst sind jedoch noch zwei Gesichtspunkte für die Stadtentwicklung zu nennen, die ihren Niederschlag in Theorien gefunden haben:

aa) Die *Wiek-Ort-Theorie*

Ihre Vertreter stellten bei vielen Städten bis hin nach Flandern den alten Straßen- oder Platz- oder Ortsnamen „Wiek“ fest, der immer in der Nähe eines Flusses oder

Baches auftrat. Sie kamen darauf, daß es sich um Handelsniederlassungen an Flüssen, um Stapelplätze, gehandelt haben muß, was auf einen beträchtlichen Wasserverkehr schließen läßt. Als ursprünglichen Kern sehr vieler mitteleuropäischer, vor allem nordwestdeutscher Städte gedeutet, verlegt man sie ins 10. und 9. und nach neueren Erkenntnissen auch ins 8. Jahrhundert. Dies gilt einerseits für das französische Quentovic, aber auch für Stade, Braunschweig, Hildesheim, Hannover u.a.m. Entscheidend ist immer die Lage zum Wasser und das Vorhandensein eines kleinen Hafens. Auf diese Weise ist eine große Anzahl von Wicken festgestellt worden, die als Ansatzpunkte der Städte, also etwa 300 Jahre vor der eigentlichen Stadtbildung, zurückreichen.

bb) Die *Rastort-Theorie*

Eine weitere Erklärung gibt die sog. Rastort-Theorie ab, die zunächst von Schrader für Hessen und dann auch von Dörries für Nordwestdeutschland aufgestellt worden ist. Die Überlegung ist folgende:

Der mittelalterliche Fernverkehr (auf dem Lande) vollzog sich auf mehreren Haupt- und Fernstraßen. Da die Fuhrleute aus Sicherheitsgründen in Gruppen von bis zu 30 Wagen reisten und nach einer Tagesreise jeweils übernachten mußten, bildeten sich gewisse Übernachtungsplätze heraus. Wo aber Waren gestapelt wurden, mußten sie auch feilgeboten werden (Stapelrecht bzw. -pflicht). Dementsprechend wurde aus den Park- und Übernachtungsplätzen eine Handelsfunktion geboren. Die verschiedenen Autoren stellten nun eine regelhafte Entfernung zwischen den kleineren Städten fest, welche zwischen 25 und 30 km liegt. Diese Differenz entspricht einer täglichen Fahrleistung. Belegt wurde diese Theorie u.a. für Göttingen, Northeim und Einbeck, aber auch für Braunschweig, Gifhorn, Sprakensehl, Uelzen und Lüneburg. Eine Ausnahme bei all diesen Betrachtungen bilden die Städte im ostdeutschen Neusiedlungsland – also auch u.a. in Mecklenburg –, wo im Zusammenhang mit spätmittelalterlichen Kolonisationsbewegungen auch planmäßig angelegte Städte entstanden. Während des ausgehenden 12. Jahrhunderts wurden die norddeutschen Städte mit dem Stadtrecht, dem Münzrecht und mit dem Marktrecht ausgestattet. Es entstanden die mittelalterlichen Befestigungen, die dann im 17. Jahrhundert, also fast 500 Jahre später, häufig im Zuge des Vaubanschen Systems, verstärkt wurden. Schwerpunkt dieser Stadtentwicklung waren in Norddeutschland Braunschweig, das 5 verschiedene Weichbilde in sich barg, und Goslar. Bei Goslar hatte der Erzbergbau (u.a. Gold und Silber) des Rammelsberges, der etwa seit 800 n.Chr. betrieben wurde, eine wesentliche Bedeutung.

Eine bewußte Gründung bzw. Verlegung von Celle (1292) erfolgte durch Herzog Otto d. Strengen mit dem Ziel, den Wasserverkehr und den Flußübergang über die Aller an der Einmündung der Fuhse zu beherrschen. Durch den Fernverkehr auf dem Lande wurden dann unter den Städten Hannover, Lüneburg (nach der Zerstörung Bardowicks), Lübeck und insbesondere Hamburg für die überseeischen Verbindungen bedeutsam. Der im 8. und 9. Jahrhundert wichtige Handelsplatz Haitabu wurde in seiner Funktion durch Schleswig abgelöst.

Für die Stadtentwicklung des 12. Jahrhunderts ist im Stadtkern jeweils ein unregelmäßig verlaufendes Straßennetz charakteristisch; dieses wurde ergänzt durch ein durch

planmäßig angelegte und vielfach parallel verlaufende Straßen gekennzeichnetes Bild der Neustadt. Diese „Neustädte“ wurden häufig geplant und errichtet von angeworbenen Flamen und Holländern. Im übrigen ist für diese Zeit bereits ein lebhafter Handel (mit Salz, Metall, Schmuck und Tuchen) zu verzeichnen. Für den Fernverkehr auf dem Lande wurden Wagen verwendet, die im mitteldeutschen und gebirgigen Bereich eine relativ schmale Spur und in Norddeutschland eine breitere Spur hatten. Eine für diese unterschiedlichen Wagenspuren notwendige Umladestelle war in Hildesheim.

Die Entwicklung der Städte wurde getragen einerseits vom Adel, von der Kirche, von den Kaufleuten und von den Zuzüglern vom Lande, die in der Stadt nach der Devise „Stadtluft macht frei“ ihr Auskommen fanden. Zum Teil waren sie Ackerbürger, die das vor der Stadt liegende Land bebauten, zum Teil entwickelten sich die verschiedenen Handwerker-Stände und Gruppierungen. Das Stadtbild des 12. und 13. Jahrhunderts hat mit wenigen Ausnahmen seine Struktur und sein Ausmaß bis zur ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, d.h. bis zum Beginn der Industrialisierung, behalten.

Das *Wüstungs- oder Entsiedlungsphänomen* ist zwar in vielen Zeitabschnitten nachweisbar, konzentriert jedoch ist ein Rückgang der Besiedlung im ausgehenden Mittelalter zu beobachten. Für Norddeutschland und auch für andere Teile Mitteleuropas ist ein sehr starker Rückgang der Siedlungen für die Spanne von 1350 bis 1500 nachweisbar. Für Niedersachsen ist dieser Wüstungsvorgang – um den Ausdruck noch einmal zu wiederholen – für das nördliche Harzvorland, die südöstliche und mittlere Lüneburger Heide sowie für das Hannoversche Wendland in verstärktem Maße zu belegen. Im Vergleich zum 12. Jahrhundert, dem Höhepunkt der Besiedlung, sind bis zum 15. Jahrhundert 33 bis maximal 48% der ursprünglich gleichzeitig vorhandenen Siedlungen verschwunden. In den Küstengebieten sowie in Schleswig-Holstein ist der Wüstungsvorgang ebenfalls nachzuweisen, jedoch sind die Prozentsätze niedriger. Die Lage der im Gelände vielfach noch heute erkennbaren totalen Ortswüstungen, d.h. der hochmittelalterlichen Dorfstellen, ist auf methodisch unterschiedlichen Wegen festzustellen, u.a. mit Hilfe der Luftbilddauswertung, mit der Analyse von Verkopplungs- und Bonitierungskarten und dergl. mehr.

Das Ackerland dieser hochmittelalterlichen Dörfer ist später vielfach bewaldet oder von der Heidevegetation überzogen. Der Beweis für die ehemalige agrarische Nutzung ist in den noch heute vielfach im Gelände sichtbaren Wölbäckern zu dokumentieren. Interessant ist nun, daß diese ausgedehnten Ackerflächen, von denen bis zum 12. Jahrhundert im Zuge der Vergetreidung die produzierten Halmfrüchte – wie bereits erwähnt – exportiert wurden, im Verlaufe und während der spätmittelalterlichen Wüstungsperiode aufgegeben und seitdem häufig nicht wieder bebaut wurden. Zum nicht unbeträchtlichen Teil finden sich diese Areale auf ungünstigen, z.T. sehr mageren, zum Teil sehr tonigen Böden (u.a. nördlich von Braunschweig, sowie in der Region „Papenteich“).

Der Vorgang dieser spätmittelalterlichen Wüstungsperiode ist mit verschiedenen Ursachen zu erklären:

- a) Ballungserscheinungen
- b) Bauernlegen durch die Klöster

- c) Einführung der Dreifelderwirtschaft
- d) Fehden
- e) Konzentration im Bereich der Städte
- f) Wirtschaftliche Gründe (Getreide-Krise)
- g) Böden (schlechte Böden wurden aufgegeben)
- h) Klimaveränderungen (im Sinne eines exzessiven, d.h. kontinentalen Klimas)
- i) Als besonders gravierend muß ein allgemeiner Bevölkerungsrückgang, hervorgerufen durch Pest und andere Krankheiten, genannt werden.

Die Seuchen traten innerhalb weniger Jahre mit schwerer Konzentration in den Städten auf, hatten jedoch auch ihre Auswirkungen im ländlichen Bereich; dies gilt besonders für die zweite Hälfte des 14. Jahrhunderts.

Nach Reinke beliefen sich die jährlichen Verluste der Bevölkerung in den Städten (u.a. in Hamburg) auf Prozentzahlen, die uns als außerordentlich hoch erscheinen: 30–40%.

Die katastrophalen Auswirkungen von Pest und Cholera sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß von den Kreuzfahrern die Erreger aus dem Nahen Osten mitgeschleppt, in den enggebauten Städten durch Ratten weiter verbreitet wurden und von der wenig resistenten Bevölkerung kaum überwunden werden konnten.

Zu 6):

Einerseits sei die Frage gestellt, ob es sich bei der *Lüneburger Heide* um eine Naturlandschaft oder um eine Kulturlandschaft handelt; zum anderen ist damit auch die Verbindung zu den bisherigen Darlegungen im Zusammenhang mit der Wüstungsperiode aufgezeigt.

Die Überproduktion von Getreide, die unnötig ausgedehnten und nun nicht mehr benötigten Ackerflächen führten – wie der Wirtschaftshistoriker ABEL nachwies – zum Getreidepreisverfall. Auch im Gebiet der heutigen Lüneburger Heide beeinflussten die niedrigen Getreidepreise die wirtschaftliche Lage der Grund- und Landesherren und des gesamten bäuerlichen Sozialgefüges. So war man im 16. und beginnenden 17. Jahrhundert generell gezwungen, den Ackerbau einzuschränken und auf Viehzucht, d.h. auf Schafhaltung, umzustellen. Diese Ausweitung der Schafzucht ist urkundlich nachzuweisen und verlief regional gesehen, von der Nordheide zur Südheide. In der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts dürfte dieser Vorgang das gesamte Gebiet der heutigen Lüneburger Heide verändert haben, d.h. seit diesem Zeitpunkt haben wir generell die Schafzucht mit dem Ergebnis, daß durch den Schafverbiß der natürliche Aufwuchs der Waldvegetation (u.a. Birken, Laubwald) verhindert wurde. Dies bedeutet aber auch, daß damit das gesamte Landschaftsbild bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts dominierend beeinflusst wurde. Hinzu kam ferner, daß der ungewöhnliche Holzverbrauch der Lüneburger Salinen besonders im 17. und 18. Jahrhundert zu Abholzungsvorgängen größten Ausmaßes führte und im Endergebnis das benötigte Holz aus bis zu 50 km Entfernung mit dem Pferdewagen herantransportiert werden mußte. In diesem Sinne ist also die Lüneburger Heide mit der charakteristischen Calluna- und Erika-Vegetation meiner Meinung nach das Ergebnis einer wirtschaft-

lichen Umstrukturierung der ländlichen Kulturlandschaft und damit eine direkte Folge der spätmittelalterlichen Wüstungsperiode.

Wenn wir heute im Bereich der Lüneburger Heide – man kann nur sagen, leider – nur wenig von dieser Heidelandschaft und dann auch nur durch intensive Fürsorge in den Naturschutzgebieten beobachten können, dann hat dies zwei Gründe:

- a) Aufgrund des starken Rückganges der Schafhaltung seit Anfang des 20. Jahrhunderts hat die Waldvegetation von den infrage kommenden Arealen wieder Besitz ergreifen können;
- b) durch den Einfluß der geregelten Forstwirtschaft, die seit Ende des 18. und Beginn des 19. Jahrhunderts sehr stark das Kulturlandschaftsbild geformt hat, ist diese Art der Wiederbewaldung als Wiederaufforstung zu charakterisieren.

Zu 7):

Die anschließende Periode (16. und 17. Jahrhundert) war eine Zeitspanne der Ruhe bzw. der allmählichen Erholung von den Auswirkungen des Spätmittelalters. Lediglich die systematische Erschließung des Oberharzes durch die Gründung der sieben freien Bergstädte zeugte von einer zunehmenden, auch mit Hilfe der damaligen Technik geförderten Aktivität. Die Lage und Anzahl der Dörfer veränderten sich nicht. Dies gilt auch für die Städte, die ihre Nutzungsfläche vom 15. Jahrhundert bis in die napoleonische Zeit, in der die Befestigungen geschleift wurden, nicht erweitern konnten. Verantwortlich dafür war auch das im 17. Jahrhundert – entsprechend dem zunehmenden Schutzbedürfnis – angelegte Vaubansche Bastionssystem.

Der Dreißigjährige Krieg hat sicherlich die bevölkerungs- und wirtschaftsgeographische Struktur Nordwestdeutschlands wesentlich verändert. Die Frage jedoch, eine wie große Zeitspanne unser Gebiet für eine Genesung benötigte, ist bisher nicht eindeutig geklärt. Die Säkularisierung, die Enteignung und Auflösung der Klöster nach der Reformation, hat jedoch zumindest in Niedersachsen nicht zur Zerschlagung der wirtschaftlichen Einheiten geführt; dies ist z.B. schon darin zu sehen, daß bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Domänen, – verwaltet von den Domänenpächtern, – erhalten geblieben sind. Auch die Funktion der Klosterkammer hat sich bis in die heutige Zeit als sehr segensreich erwiesen. Dennoch läßt sich anhand der bevölkerungsgeographischen Statistik nachweisen, daß sich bereits gegen Ende des 17. Jahrhunderts auf dem „flachen Lande“ und in den Städten schon wieder ein nicht unbeträchtlicher Bevölkerungsdruck abzeichnete, der sich im 18. Jahrhundert noch steigerte. Als Ausdruck dieser Bevölkerungszunahme und damit zugleich als deren Folge sind gewisse soziale Spannungen festzustellen.

Diese Probleme fanden ihren Niederschlag einerseits in der Anlage der relativ kleinen und nur unzureichend mit Ackerland ausgestatteten An- und Abbauerstellen in bereits bestehenden Dörfern, zum anderen aber in der bereits erwähnten Moorkolonisation. Sie fand ihren Höhepunkt in der zweiten Hälfte des 18. und im beginnenden 19. Jahrhundert, so z.B. im Teufelsmoor, im Bourtanger Moor, im Emsland oder im Großen Moor bei Gifhorn. Daß diese Moorkolonisation entsprechend der naturgeographisch schlecht ausgestatteten Gebiete für die dort angesiedelten Bewohner bereits

wieder eine soziale Deklassifizierung und wirtschaftliche Einengung vorprogrammierte, war in der damaligen Zeit wohl in allen Konsequenzen nicht bekannt. In der weiteren Folge der konfessionellen Differenzierung des 17. Jahrhunderts kam es zur Ausbildung und Anlage weniger neuer Siedlungen und Städte für Glaubensflüchtlinge. Man denke in diesem Zusammenhang nur beispielsweise an Karlshafen oder an Friedrichstadt in Schleswig-Holstein, wo bis in die 30er Jahre dieses Jahrhunderts verschiedene Konfessionen geduldet bzw. deren Vertreter ansässig waren.

Zu 8):

Das 19. Jahrhundert läßt sich in seiner rechtlichen, wirtschaftlichen und sozialen Umstrukturierung nur verstehen, wenn man einerseits die Auswirkungen der englischen Industrialisierung, andererseits diejenigen der Französischen Revolution berücksichtigt. In Norddeutschland waren es in den preußischen Gebieten die Reformen von Stein-Hardenberg, zugleich aber auch der Beginn der innerbetrieblichen Umstrukturierung der Dörfer. Es sei nur an folgende Verbesserungen erinnert:

- a) Ablösung der Hand- und Spanndienste
- b) Ablösung der Zehntverpflichtungen
- c) Ablösung der Naturalienverpflichtung
- d) Durchführung der Verkopplungen im Sinne einer wirtschaftlichen Rationalisierung
- e) Durchführung der Generalteilungen und Aufteilung der Allmende mit dem Ziel, das gemeinschaftlich genutzte Land in stärkerem Maße zu reduzieren und damit dem einzelnen Bauern mehr Land zur eigenen Verfügung zu überlassen. Bei diesem Vorgang vergrößerte sich die Besitzfläche der Bauern bisweilen auf das Zwei- bis Dreifache des ursprünglich vorhandenen zu bestellenden Areals. Daß bei diesem Vorgang in erster Linie entsprechend ihrer Gerechtsame Ackerleute, Vollhöfner, Vollmeier etc. bedacht wurden, weniger die Kötner oder Kothsassen, gar nicht oder nur in geringem Umfang die Brinksitzer bzw. An- und Abbauer, sei nur am Rande erwähnt.
- f) Ablösung der Holz- und Viehmast- sowie der Schnatteleberechtigungen der Bauern mit dem Ergebnis, daß die Grenzen zwischen Bauernwald, Privatforst der Güter und Staatsforsten festgelegt wurden. Damit wurde zum ersten Male auch eine exakte besitzrechtliche Grenze der einzelnen Gemeinden fixiert.

Dieser Vorgang fand in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts statt, zog sich jedoch bei einigen Dörfern der Lüneburger Heide auch bis in die 80er Jahre hin. Insgesamt ist dieser Prozeß deswegen so wichtig, weil er – trotz anfänglicher beträchtlicher wirtschaftlicher Belastungen – den Bauern vom Pächter bzw. Erbpächter seines Landes zum Eigentümer werden ließ. Hinzu kam, daß entsprechend der gesamten kulturellen und wirtschaftlichen Situation, der Bauer vom Selbstversorger zum Versorger der rapide anwachsenden städtischen Bevölkerung aufstieg. Dieser Vorgang wurde ermöglicht durch den Bau zahlreicher Eisenbahnlinien, die seit 1837 das gesamte Land durchzogen.

Die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts führte auf dem städtischen Sektor zu einer grundsätzlichen Umgestaltung: Die Industriebetriebe entstanden – recht unorganisch

– am Rande der seit dem Mittelalter fast unverändert erhalten gebliebenen Städte und zum Teil unmittelbar hinter den geschleiften Befestigungen. Residenzstädte, Handelsstädte, Ackerbürgerstädte wurden zu Industrieorten mit allen sozialen, hygienischen und wirtschaftlichen Folgen bis hin zur Entwicklung des Arbeiterproletariats, das es in dieser Art einschließlich seiner Organisationsformen in den vorhergehenden Zeiten nicht gegeben hatte.

Zu 9):

Ob man das 20. Jahrhundert als den Höhepunkt der Umstrukturierung der Kulturlandschaft positiv oder negativ bewerten mag, ist auch heute noch eine Frage. Sicher aber ist, daß der Veränderungsprozeß von der im wesentlichen ländlichen oder städtischen Kulturlandschaft hin zur Industrie- und vom Verkehr gekennzeichneten Landschaft zunächst ungeordnet oder unsystematisch vor sich ging. Uns wurde ein Erbe beschert, das bis heute nur unzureichend bewältigt werden konnte. Der Gedanke der „harmonischen“, vom Menschen sinnvoll genutzten Landschaft, ist mehr oder weniger Utopie geblieben.

An Fakten sind vor allem die durch den Verkehr bedingten Veränderungen anzumerken:

- a) Die Kanäle (Mittellandkanal, Dortmund-Ems-Kanal, Elbe-Seiten-Kanal u.a.m.),
- b) die Autobahnen, die im wesentlichen nach 1945 gebaut wurden,
- c) die Flugplätze mit ihren Einfluß- und Einzugszonen,
- d) Politische Veränderungen wie die Zonengrenzziehung (1945), die Nordwestdeutschland zwang, sich von seiner wirtschaftlichen und verkehrlichen Bindung an Mittel- und Ostdeutschland umzuorientieren in die Nord-Süd-Richtung. Das Ergebnis war die sich immer stärker auswirkende Peripherlage der nordwestdeutschen Region.

Zusammenfassung:

Wenn wir zum Abschluß die Frage nach den Phasen der Kulturlandschaftsentwicklung noch einmal aufgreifen und damit zugleich auch Überlegungen darüber anstellen, welche Abschnitte der Genese daran besonders entscheidend gewesen sind, so ist diese Frage sicher nicht eindeutig zu beantworten.

Aus meiner Sicht halte ich die Entwicklung vom 11. bis zum 13. Jahrhundert für entscheidend, dann später das Umschlagen der Entwicklung im Spätmittelalter im Sinne einer negativen Siedlungsperiode bis 1500. Wahrscheinlich ist das heutige Kulturlandschaftsbild nur richtig zu verstehen unter Berücksichtigung all jener Veränderungen im Spätmittelalter.

Der weitere entscheidende Prozeß wurde eingeleitet in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts (vorindustrielle Revolution) und mündete in die Umstrukturierungen des 19. Jahrhunderts, das für Nordwestdeutschland die prägenden industriellen und verkehrsgeographischen Vorgänge mit sich brachte.

Ich persönlich sehe für uns Geographen eine Interpretation und Erklärung der Entwicklungen des 19. Jahrhunderts für wichtiger an als die des 20. Jahrhunderts, das in vielem – wenn auch nicht immer konsequent – eine Fortsetzung der im 19. Jahrhundert gelegten Grundlagen bildet.

13. 2. 1987 in Braunschweig

Zur paläo-ethnobotanischen Erforschung der mittelalterlichen Stadt

(Kurzfassung)

Von Ulrich Willerding

1. Einführung

Im Leben des Menschen haben Pflanzen seit jeher eine große Bedeutung gehabt. Als Lieferanten vielseitig nutzbarer Biomasse waren sie eine wesentliche Grundlage für die Ernährung von Mensch und Haustier ebenso wie für die Energieerzeugung. Zugleich lieferten sie Werkstoffe, Baumaterial, Fasern sowie Grundlagen für Heilpflanzen und Farbstoffe. Schließlich hatten viele Pflanzen auch eine Bedeutung im Zusammenhang mit religiösen Vorstellungen bzw. dienten als Schmuck. Erst in jüngerer Zeit sind die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der Pflanzen in den Hintergrund gedrängt worden. Dies beruht wohl weitgehend auf der durch Chemie und Technologie ermöglichten Erschließung fossiler Biomassereste (Kohle und Erdöl → Kunststoffe) und deren umfangreicher Nutzung. Daher werden Pflanzen heutzutage oftmals nur noch als Lieferanten von Nahrungsmitteln und Blumenschmuck betrachtet.

Fossile Pflanzenreste, die bei archäologischen Ausgrabungen erschlossen werden können, bieten daher günstige Voraussetzungen, um Einblicke in die Lebensmöglichkeiten des Menschen in vergangenen Zeiten zu erhalten. Pflanzen sind zugleich auch gute Indikatoren für die physiogenen und anthropogenen Standortbedingungen an ihren Wuchsorten. Die Auswertung fossiler Pflanzenreste kann daher zusätzlich über die frühen Umweltverhältnisse und insbesondere über die landwirtschaftlichen Produktionsverhältnisse informieren.

Mit der Untersuchung derartiger Pflanzenfunde und den genannten Auswertungsmöglichkeiten befaßt sich die Paläo-Ethnobotanik. Dies ist eine interdisziplinär orientierte Teildisziplin der Botanik, die sich um Erkenntnisse über die frühen Lebensumstände des Menschen ebenso bemüht wie um die Erschließung früher Umweltverhältnisse.

2. Methodische Grundlagen

Bei den in archäologischen Grabungen gefundenen fossilen Pflanzenresten handelt es sich hauptsächlich um Früchte und Samen sowie deren Abdrücke und um Holz. Diese können bestimmt und in einer Artenliste zusammengestellt werden. Bei der Auswertung ist allerdings zu berücksichtigen, daß das Fundbild der zugrundeliegenden Paläo-Situation in der Regel nicht direkt entspricht. Vielmehr muß man davon ausgehen, daß das Fundbild durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. Es ist daher erforderlich, diese Faktoren möglichst vollständig zu erfassen und ihre jeweilige Bedeutung zu analysieren.

Hierbei sind zahlreiche methodische Probleme zu berücksichtigen. Diese ergeben sich beispielsweise ebenso aus der ehemaligen Verwendung der gefundenen Pflanzenteile wie aus den am Fundplatz vorhandenen Erhaltungsbedingungen. In durchlüfteten Ablagerungen kommt es recht schnell zur Remineralisierung organischer Teile; nur verkohlte Belege können dort über längere Zeit erhalten bleiben. In Sedimenten, die unter Sauerstoffabschluß stehen, können dagegen auch unverkohlte Belege überdauern und nachgewiesen werden. Dies gilt insbesondere für zahlreiche Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen wie Brunnen, Kloaken und Abfallgruben. Brunnen mußten bis in den Bereich des Grundwasserspiegels eingetieft sein, Fäkal- und Abfallgruben waren es ebenfalls. Zu den hier geborgenen unverkohlten Pflanzenteilen gehören u. a. Reste von Obst-, Gewürz- und Gemüsearten oder Importfrüchten. Verkohlte Nachweise solcher Pflanzen können nur äußerst selten festgestellt werden, anders als bei Getreide und Leguminosen, von denen fast ausschließlich verkohlte Belege bekannt geworden sind. Derartig unterschiedliche Fundchancen für Belege einzelner Pflanzengruppen ergeben sich vor allem aus der verschiedenartigen Behandlungsweise von Früchten und Samen, die u. a. mit der Art ihrer Speicherung bzw. Verwendung zusammenhängt.

Eine weitere wichtige Informationsquelle sind die als Baumaterial verwendeten Pflanzenteile. Sie befinden sich meist noch in ihrer Originallagerung, z. B. in Fachwerkhäusern. Neben der Holzbalken-Konstruktion sind vor allem die in den Gefachen enthaltenen Flechtwände sowie die dem Gefachelehm als Magerung beigemischten Pflanzenteile zu nennen. Auch in den zwischen den Stockwerken oftmals vorhandenen sogenannten Fehlböden befinden sich häufig Pflanzenteile, die wohl zur Isolierung dorthin gebracht wurden. Schließlich sind auch die ebenfalls im Deckenbereich verwendeten Wellerhölzer von großem Aussagewert. Die um sie gewickelten und mit Lehm verstrichenen Roggenhalme lassen außer den beigemischten Unkrautarten noch Ährenlänge und Mindestwuchshöhe des Getreides erkennen.

Außer den fossilen Resten von Pflanzen geben auch zeitgenössische schriftliche und ikonographische Zeugnisse Auskunft über die Lebens- und Umweltverhältnisse während des Mittelalters. Zu nennen sind hier neben städtischen Statuten beispielsweise Zollbücher, Zehntverzeichnisse und Kochbücher ebenso wie die spätmittelalterliche Tafel- und Buchmalerei bzw. frühneuzeitliche Markt- und Küchenszenen oder Früchtestillleben.

3. Quellenlage in der mittelalterlichen Stadt

Die vor geraumer Zeit begonnenen archäologischen Untersuchungen im Altstadtbereich mehrerer Städte bieten eine vorzügliche Grundlage für die paläo-ethnobotanische Erforschung der mittelalterlichen Stadt. Aus den zahlreich vorhandenen Brunnen, Kloaken und Abfallgruben können viele Pflanzenreste geborgen werden. Bei der Restaurierung von Fachwerkhäusern fallen oftmals Lehmgefache, Flechtwerk, Wellerhölzer und Fehlbödenfüllungen an. Schließlich können auch die mancherorts erhalten gebliebenen zeitgenössischen schriftlichen Quellen und bildlichen Darstellungen ausgewertet werden.

Der Vergleich der verschiedenen in der Stadt erfaßbaren Quellentypen ist auch in methodischer Hinsicht lohnend. Oftmals können sie sich gegenseitig ergänzen. Da beispielsweise Blatt- und Wurzelgemüse ebenso wie Blattgewürze kaum durch fossile Reste nachgewiesen werden können, ist man für ihre vollständige Erfassung auch auf schriftliche Quellen, wie z.B. Zollbücher, angewiesen. Zeitgenössische Kochbücher orientieren zusätzlich über die Verwendungsart der Pflanzen bzw. Pflanzenteile und über ihre Zubereitung.

4. Lebens- und Umweltverhältnisse im Bereich der mittelalterlichen Stadt

Dem jeweiligen Forschungsstand entsprechend ergeben sich für einzelne Städte unterschiedlich gut abgesicherte Erkenntnisse über Lebens- und Umweltverhältnisse. Die nachfolgend mitgeteilten Ergebnisse bauen auf den verschiedenen Quellenmaterialien auf, die aus Städten Südniedersachsens und angrenzender Gebiete erschlossen werden konnten.

4.1 Ernährung

Die in Tabelle 1 erfaßten zahlreichen Nutzpflanzenarten zeigen, daß eine große Anzahl von Pflanzenarten für die Ernährung der Stadtbewohner zur Verfügung stand. Es fällt auf, daß neben den zahlreichen Kulturpflanzenarten der Äcker und Gärten auch mehrere Importfrüchte wie Eßkastanie, Feige, Granatapfel und Reis Verwendung fanden. Daneben wurden auffallend viele Wildfrüchte gesammelt und verzehrt, offenbar einer alten Tradition folgend.

Der bisherige Forschungsstand erlaubt leider noch keine genaueren Erkenntnisse über eine anzunehmende soziale Differenzierung der Ernährungsweise. Dies würde wohl erst durch entsprechende, quartierspezifisch orientierte stadttarchäologische Forschungsprojekte ermöglicht werden. Immerhin wird schon jetzt deutlich, daß Importfrüchte eher bezeichnend sind für Kloaken aus vornehmeren Häusern. Allerdings finden sich auch dort massenhaft Belege von Wildobstarten.

Zur Grundlage der vegetabilischen Ernährung gehören auf alle Fälle die Getreidearten. Dabei spielte vermutlich der Roggen selbst in den Lößgebieten eine mindestens ebenso wichtige Rolle wie der Weizen. Gerste fand zunehmend in der Brauerei und Hafer auch als Pferdefutter Verwendung.

Die fossilen Belege der Leguminosen sind durchweg verkohlt; sie wurden offenbar in ausgereiftem Zustand geerntet. Dies spricht ebenso wie mehrere schriftliche Belege aus Zoll- und Kochbüchern dafür, daß diese Samen damals eher als Mehl- bzw. Breifrüchte genutzt wurden. Eine Verwendung als Gemüse, wie sie heute für Erbse und Ackerbohne verbreitet ist, war damals wohl noch unbekannt.

Wie groß der Anteil von Getreide und Leguminosen in der Herstellung von Brot und anderem Backwerk bzw. in der Brei- und Grütznahrung gewesen ist, muß im einzelnen noch ermittelt werden. Allein aus den fossilen Pflanzenresten ist das nicht zu erschließen. Hier zeigt sich ein weiteres Forschungsdesiderat, das nur bei Heranziehung aller zur Verfügung stehender Quellen zu beantworten sein wird. Immerhin ist anzu-

Tabelle 1: In Städten Südniedersachsens und angrenzender Gebiete aus dem Mittelalter sowie der frühen Neuzeit (13. – 16. Jahrhundert) nachgewiesene Nahrungspflanzen. Zum Vergleich sind die im Göttinger Zollbuch von 1410 erwähnten Arten eingetragen. Fossile Belege aus Ablagerungen des 13. – 16. Jahrhunderts: + Nachweis vorhanden, ++ reichlich vertreten, +++ massenhaft, – kein Nachweis vorhanden.

Pflanzennamen		Erwähnung	Nachweis durch
modern	wissenschaftl.	im Zollbuch	fossile Belege
<u>Getreide und Buchweizen</u>			
Gerste	<i>Hordeum vulgare</i>	gerste	+
Hafer	<i>Avena sativa</i>	havere	+
Reis	<i>Oryza sativa</i>	ris	+
Rispenhirse	<i>Panicum miliaceum</i>	-	+
Roggen	<i>Secale cereale</i>	rogen, rogge, roggen	+++
Saat-Weizen	<i>Triticum aestivum</i>	} weiten, weyte	++
Zwerg-Weizen	<i>T. aestivo-compactum</i>		++
Buchweizen	<i>Fagopyrum esculentum</i>		+
<u>Leguminosen</u>			
Ackerbohne	<i>Vicia faba</i>	bone	+
Erbse	<i>Pisum sativum</i>	arwete, erwete	+
Linse	<i>Lens culinaris</i>	linse	+
Wicke	<i>Vicia</i> sp.	wicken	+
<u>Fettliefernde Arten</u>			
Hanf	<i>Cannabis sativa</i>	-	++
Lein	<i>Linum usitatissimum</i>	lyn	++
Leindotter	<i>Camelina sativa</i>	-	+
Mohn	<i>Papaver somniferum</i>	man, maen	++
<u>Gemüse- und Salatpflanzen</u>			
Amaranth	<i>Amaranthus lividus</i>	-	+
Feldsalat	<i>Valerianella locusta</i>	-	+
Garten-Melde	<i>Atriplex hortensis</i>	-	+
Gurke	<i>Cucumis sativus</i>	-	+
Kohl, Kohlrübe	<i>Brassica</i> sp.	kol, koil	+
Kresse	<i>Lepidium sativum</i>	kerse	+
Lauch	<i>Allium porrum</i>	loik, louk	-
Portulak	<i>Portulaca oleracea</i>	-	+
Rettich	<i>Raphanus sativus</i>	-	+
Rübe, Mangold	<i>Beta vulgaris</i>	-	+
Sellerie	<i>Apium graveolens</i>	-	+
Spinat	<i>Spinacia oleracea</i>	-	+

nehmen, daß Brot und anderes Gebäck in der Ernährung wohlhabender Bürger eine größere Bedeutung gehabt hat als bei ärmeren Stadtbewohnern. Bei Brei und Grütze wird es umgekehrt gewesen sein.

Für die Versorgung mit Fett standen mehrere Arten zur Verfügung. Wie Kochrezepte zeigen, wurde Hanf damals vor allem in Fastenspeisen verwendet. Lein und Mohn dienten der Ölherstellung. Aus dem Erhaltungszustand zahlreicher fossiler

Tabelle 1, Fortsetzung

Gewürzpflanzen

Bohnenkraut	<i>Satureja hortensis</i>	-	+
Dill	<i>Anethum graveolens</i>	-	+
Fenchel	<i>Foeniculum vulgare</i>	-	+
Kardamom	<i>Elletaria cardamom</i>	-	+
Knoblauch	<i>Allium sativum</i>	knufloic, knufloike	-
Koriander	<i>Coriandrum sativum</i>	-	+
Kümmel	<i>Carum carvi</i>	-	+
Nelken	<i>Syzygium aromaticum</i>	negele	-
Petersilie	} <i>Petroselinum hortense</i> {	petercilie	+
Petersilienwurzel		petercilie roive	-
Pfeffer	<i>Piper nigrum</i>	peper	-
Salbei	<i>Salvia officinalis</i>	salveie	-
Schwarzer Senf	<i>Brassica nigra</i>	-	+
Schwarzkümmel	<i>Nigella sativa</i>	-	+
Wacholder	<i>Juniperus communis</i>	-	+
Ysop	<i>Hyssopus officinalis</i>	-	+
Zwiebel	<i>Allium cepa</i>	zipolle	-

Kulturobst und Nüsse

Apfel	<i>Malus sylvestris</i>	appele	++
Birne	<i>Pyrus domestica</i>	beren	++
Eßkastanie	<i>Castanea sativa</i>	castaneen	+
Feige	<i>Ficus carica</i>	vigen	+++
Granatapfel	<i>Punica granatum</i>	-	+
Mandel	<i>Prunus amygdalus</i>	mandeln	-
Maulbeere	<i>Morus nigra</i>	-	+
Mispel	<i>Mespilus germanica</i>	-	+
Pfirsich	<i>Prunus persica</i>	-	+
Pflaume	<i>Prunus insititia</i>	spillinge	++
Quitte	<i>Cydonia oblonga</i>	queden	+
Sauerkirsche	<i>Prunus cerasus</i>	} kerseberen	+++
Süßkirsche	<i>Prunus avium</i>		+
Walnuß	<i>Juglans regia</i>	note	++
Weinrebe	<i>Vitis vinifera</i>	winbern, wyn	+
Zwetsche	<i>Prunus domestica</i>	plum (?)	+

Wildobst und Nüsse

Blaubeere (?)	<i>Vaccinium myrtillus</i>	-	++
Brombeere	<i>Rubus fruticosus</i>	-	++
Erdbeere	<i>Fragaria vesca</i>	ertberen	+++
Haselnuß	<i>Corylus avellana</i>	note	++
Himbeere	<i>Rubus idaeus</i>	-	++
Holunder	<i>Sambucus nigra</i>	-	++
Kratzbeere	<i>Rubus caesius</i>	-	+
Rose	<i>Rosa sp.</i>	-	+
Schlehe	<i>Prunus spinosa</i>	-	+++
Weißdorn	<i>Crataegus laevigata</i>	-	+

Brauereipflanzen

Hopfen	<i>Humulus lupulus</i>	hoppe	+
Gagelstrauch	<i>Myrica gale</i>	-	+

Belege dieser Arten geht allerdings hervor, daß diese Samen auch den Speisen zugefügt worden sind.

Auffällig groß ist die Zahl der nachgewiesenen Gemüsearten. Da die meisten vor der Samenreife verwendet worden sind, ist die Anzahl der einzelnen fossilen Belege jedoch recht gering. Aus mittelalterlichen Kochrezepten geht hervor, daß das Gemüse meist brei- bzw. musartig zubereitet wurde. Dies entspricht der Ableitung unseres Wortes Gemüse (*gemüsz*) als Sammelbegriff von *muos* (Brei). Hierdurch wird auch verständlich, daß in den zeitgenössischen Essensszenen Gemüsezubereitungen in modernem Sinne nicht erkennbar sind. Eine Ursache für die Gemüse-Musherstellung wird vermutlich in dem damals wohl noch viel größeren Anteil harter bzw. fester Bestandteile im Gemüse gelegen haben. Zur besseren Verdaulichkeit mußte es stark zerkleinert und lange gekocht werden. Erst im Laufe der Zeit gelang es, durch Züchtung den Anteil dieser Bestandteile zu verringern.

Auch die Anzahl der aus dem Arbeitsgebiet direkt nachgewiesenen Gewürzarten ist überraschend groß (Tabelle 1). Hinzu kommen einige weniger gut erfaßbare Arten, die im mittelniederdeutschen Kochbuch des 15. Jahrhunderts erwähnt werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Im mittelniederdeutschen Kochbuch des 15. Jahrhunderts genannte Gewürzpflanzen, von denen fossile Belege im Untersuchungsgebiet bislang fehlen.

modern	P f l a n z e n n a m e n		Erwähnung im Kochbuch
		wissenschaftlich	
Afrikanischer Pfeffer	<i>Aframomum</i>	<i>maleguata</i>	paradiseskorn
Anis	<i>Pimpinella</i>	<i>anisum</i>	annys
Galgant	<i>Alpinia</i>	<i>galanga</i>	galgan
Ingwer	<i>Zingiber</i>	<i>officinale</i>	ingever, yngebar
Marienblatt	<i>Tanacetum</i>	<i>balsamita</i>	krusemynte
Muskatnuß	<i>Myristica</i>	<i>fragrans</i>	musschate
Safran	<i>Crocus</i>	<i>sativus</i>	safferan
Zimt	<i>Cinnamomum</i>	<i>zeylanicum</i>	rindeln, synamomum
Zitwer	<i>Amomum</i>	<i>zedoaria</i>	tzedewer

So standen insgesamt etwa 25 Gewürzpflanzen in der mittelalterlichen Küche zur Verfügung. Auch hier ist eine soziale Differenzierung in der Verbreitung der Gewürze anzunehmen. Teure Importgewürze werden eher in der Küche wohlhabender Bürgerfamilien Verwendung gefunden haben.

Daß so viele Gewürze gebraucht wurden, dürfte mit den zum Garen benötigten, wohl auch durch die damalige Herdtechnik bedingten langen Kochzeiten zusammenhängen. Die leicht flüchtigen Aromastoffe gingen dabei weitgehend verloren. Um den Gemüsebrei oder die zahlreichen, in den Kochbüchern erwähnten Fleischpasteten wieder schmackhaft zu machen, wurden sie durch verschiedene Gewürze aromatisiert. Das war zugleich auch vorteilhaft, da viele Gewürze Substanzen besitzen, die die Verdauung fördern und damit die Bekömmlichkeit der Speisen begünstigen. Etwa in gleichem Sinne werden sich die ebenfalls in manchem Gewürz enthaltenen bakterizid oder

bakteriostatisch wirksamen Inhaltsstoffe ausgewirkt haben. Das war angesichts der damals allgemein verbreiteten hygienischen Verhältnisse von Nutzen.

Lange Garzeiten führten außerdem zum Verlust ansprechender Färbungen der Speisen. Dies erklärt wohl die während des Mittelalters und der frühen Neuzeit – nach Aussage zahlreicher zeitgenössischer Kochbücher – übliche Verwendung pflanzlicher Speisefarbstoffe. Zu nennen sind hier Akelei- und Kornblumenhonig, die eine für uns schwer vorstellbare Blaufärbung der Speisen hervorriefen, ebenso wie die zur Rotfärbung benutzten Früchte von Kirsche, Maulbeere und Brombeere sowie Petersilie und Safran zur Grün- bzw. Gelbfärbung.

Über die Bedeutung des Obstes in der Ernährung berichten die zeitgenössischen schriftlichen Quellen nur relativ wenig. Da aber aus nahezu allen bislang untersuchten städtischen Feuchtboden-Fundplätzen eine große Zahl von Obstbelegen nachgewiesen werden konnte, muß Kultur- und Wildobst eine große Rolle in der Versorgung der Bevölkerung gespielt haben. Aus manchen schriftlichen Quellen geht allerdings hervor, daß Obst auch zu Most oder Fruchtmarmelade verarbeitet wurde. Dieses Fruchtmarmelade diente durch Ansatz mit Wein häufig zur Bereitung von Obstwein.

Außer den genannten Getränken war auch Wein verbreitet, im Arbeitsgebiet wenigstens z.T. aus lokalem Wachstum hergestellt. Allmählich setzte sich jedoch das Bier durch. Als Bierwürze hatte neben Hopfen zunächst auch Gagel gedient. Dies zeigen beispielsweise fossile Belege der Art aus dem mittelalterlichen Hötter.

4.2 Heil- und Zierpflanzen

Manche schriftliche Quelle des Mittelalters berichtet über die Verwendung von Heilpflanzen. Besonders interessant sind in diesem Zusammenhang die Schriften der Heiligen Hildegard von Bingen (ca. 1150) und von Albertus Magnus (ca. 1250). Über den Verkauf von Heilpflanzendrogen informieren gelegentlich erhaltene Apothekenregister, so z.B. aus Lüneburg (1475). Besonders vielseitig sind schließlich die Aussagen der frühneuzeitlichen Kräuterbücher. Bei einer Analyse dieser Texte fällt auf, daß mehrfach einzelne Arten für die Heilung ganz unterschiedlicher Krankheiten empfohlen werden. Das mag in der im Mittelalter verbreiteten Signaturenlehre begründet sein.

Bemerkenswert ist auch, daß alle christlichen Symbolpflanzen zugleich als Heilpflanzen galten. Diese Arten sind auf zahlreichen zeitgenössischen Bildern der Tafel- und Buchmalerei dargestellt. Aus dem Arbeitsgebiet stammen beispielsweise das „Noli-me-tangere“-Bild des Meisters vom Göttinger Barfüßer-Altar (ca. 1416; Staatsgalerie Stuttgart) und der Göttinger Barfüßer-Altar (ca. 1424; Niedersächsische Landesgalerie Hannover). Auf diesen Bildern ist eine Fülle von Christus-, Marien-, Verkündigungs-, Auferstehungs- und Engelspflanzen zu erkennen*). Einige davon, wie

*) Einige Beispiele für christliche Symbolpflanzen seien hier genannt:

Christus: Marienlilie, Akelei; Maria: Pfingstrose, Stockrose, Maßliebchen; Verkündigung: Marienlilie, Maiglöckchen; Auferstehung: Osterglocke; Engel: Wald-Erdbeere.

Akelei und Walderdbeere, sind auch unter den fossilen Belegen aus Göttingen vertreten. Vermutlich waren viele Symbolpflanzen wichtige Zierpflanzen in den Gärten der Stadt und bildeten auch den Grundstock dörflicher Bauerngärten. Nach der Reformation gingen die Kenntnisse über die Symbolbedeutung von Pflanzenarten allmählich verloren.

4.3 Holz- und Bauhandwerk

Pflanzenteile haben als Bau- und Werkstoffe früher eine wesentlich größere Bedeutung gehabt als heute. Andere Werkstoffe als solche pflanzlicher Herkunft waren auch im Mittelalter und in der frühen Neuzeit noch selten bzw. teuer. Dies zeigen z. B. die durch ikonographische Quellen wie durch Artefaktfunde belegten Holzspaten, die lediglich mit einer eisernen Kante versehen waren. Eine kurze Betrachtung von Holz- und Bauhandwerk mag daher einen Einblick in diese Art täglicher Umwelt der mittelalterlichen Menschen im Untersuchungsgebiet vermitteln.

Bei der Untersuchung bislang erfaßter größerer Fundkomplexe von Holzgerätschaften (Braunschweig, Barfüßer Kloster Göttingen, Hörter) ergab sich unter anderem, daß Ahorn- und Eschenholz für die Herstellung von Schüsseln und Tellern bevorzugt worden war. Während die aus Ahornholz gefertigten Gefäße auf beiden Seiten gedreht sind, gilt das bei Eschenholzgefäßen nur für die Innenseite. Die Außenseite ist hier meist nur grob geschnitzt. Daubengefäße wurden durchweg aus Fichtenholz hergestellt. Anders als die beiden vorgenannten Hölzer stand Fichtenholz innerhalb des Untersuchungsgebietes fast nur in den höheren Lagen des Harzes zur Verfügung. Als Liefergebiete kämen allerdings auch südlich gelegene Fichtenareale in Betracht, beispielsweise der Thüringer Wald. Zudem bleibt unklar, ob Fichtenwerkholz oder das Fertigprodukt Daubenschlüssel importiert wurde. Bislang fehlen schriftliche Quellen, die darüber Aufschluß geben könnten.

Für die Konstruktion der Fachwerkhäuser fand wegen seiner Festigkeit und Haltbarkeit vor allem Eichenholz Verwendung. Der Dachstuhl wurde bevorzugt aus dem leichteren Fichtenholz errichtet. Ruten von Hasel, Hainbuche, Erle oder auch Weide sind zum Flechtwerk der Gefache verarbeitet worden.

Der Lehmewurf des Flechtwerks wurde mit Pflanzenteilen gemagert. Es handelt sich dabei vor allem um Getreidedruschreste, meist von Roggen. Ausschließlich Roggenstroh wurde für die Umwicklung der Wellerhölzer benutzt. In den Fehlbodenfüllungen sind hingegen oftmals Haferdruschreste enthalten, beispielsweise in der Göttinger Kommende (14. Jh.). Anderenorts wurden dafür auch Leinkapsel-Druschreste genommen. Jedenfalls sind stets Pflanzenteile bevorzugt worden, die aufgrund ihrer morphologischen Eigenschaften relativ große Lufträume einschließen. Dies kam den Bemühungen um die mit der Füllung des Hohlraumes beabsichtigte Isolierung entgegen. — Ungebrannte Lehmsteine enthalten meistens die bei der Leinfasergewinnung anfallenden Leinscheben als Magerungsmaterial.

Bereits diese Befunde sprechen dafür, daß die mit der Holzverarbeitung und Bau-technik befaßten Handwerker vorzügliche Kenntnisse über die Verwendungsmöglichkeit der von ihnen benutzten Materialien hatten. Außerdem wurde manches heutige

Abfall-Material, wie z. B. Druschreste, damals als wertvoller Werkstoff verwendet. Die Abfallmenge konnte hierdurch erheblich vermindert werden.

Derartige paläo-ethnobotanische Befunde geben demnach in verschiedener Hinsicht Einblick in die damaligen Lebens- und Umweltverhältnisse; sie lassen zudem manchen Schluß auf die Mentalität jener Menschen zu.

4.4 Landwirtschaftliche Produktionsstrukturen

Neben den Kulturpflanzenbelegen ermöglichen auch die Unkrautnachweise manche interessanten Einsichten in die landschaftlichen Produktionsstrukturen im Umkreis der mittelalterlichen Stadt (Tabelle 3). Neben der Anwesenheit von Belegen einzelner Taxa ist dafür allerdings auch deren Fundkombination zu berücksichtigen.

Mittelalterliche Vorratsfunde lassen durch die oftmals unterschiedlichen Größenverhältnisse der Belege einer Art erkennen, daß der Züchtungsstand der auf einem Acker angebauten Pflanzen oftmals recht verschieden gewesen ist. Dies dürfte auch für Gemüse- und Obstarten gelten. Ihre Abbildungen in frühneuzeitlichen Markt- und Küchenszenen bestätigen das.

Bei normalen Ernteverhältnissen dürfte die Versorgung der städtischen Bevölkerung mit Kohlenhydraten, pflanzlichen Proteinen und Fetten ausreichend gewesen sein. Welchen Einfluß allerdings soziale Unterschiede, Wetterablauf oder politische Entwicklungen jeweils gehabt haben, ist von paläo-ethnobotanischer Seite bislang kaum zu klären.

Daß starker Unkrautbesatz ebenso wie Pilzinfektionen oder Schädlingsbefall manchen Ernteverlust bewirkt haben, ist aus mehreren Fundkomplexen zu ersehen. So kann der Anteil der giftigen Kornrade-Samen oder auch an Mutterkorn-Sklerotien gelegentlich recht hoch sein. In Ackerbohnenvorräten wurden auch wiederholt Fraßlöcher des Bohnenkäfers festgestellt.

Die zahlreichen Belege von Roggen, Weizen und Gerste zeigen ebenso wie der Nachweis typischer Wintergetreideunkräuter, daß Wintergetreideanbau verbreitet gewesen ist. Allerdings können Weizen und Gerste wie der Hafer auch als Sommerfrucht kultiviert worden sein. Rispenhirse, Leguminosen und Ölpflanzen wurden ebenfalls als Sommerfrucht angebaut. Dies trifft auch für die wohl ausschließlich in Gärten kultivierten Gemüsearten zu.

Vorratsfunde bestehen meist überwiegend aus Belegen einer einzigen Art. Offenbar wurden die betreffenden Arten jeweils separat voneinander angebaut.

Häufig sind jedoch kleinere Beimischungen einer zweiten Art in Vorratsfunden enthalten. Sie zeigen einen Fruchtwechsel an. Es handelt sich dabei um Überreste der Vorjahresfrucht. Einige Früchte waren bereits vor der Ernte ausgefallen. Die daraus entstandenen Pflanzen haben sich im neuen Bestand entwickelt und wurden mit ihm zusammen geerntet.

Auch für Leguminosen, Ölfrüchte und Gemüsearten ist ein Fruchtwechsel anzunehmen; beim Gemüse mag er sogar mehrmals im Jahr stattgefunden haben.

Die Beimischung niedrigwüchsiger Unkrautarten in Getreidefunden zeigt, daß die Ernte bodennah erfolgt ist. Dies geht auch aus den häufig darin enthaltenen Getreide-

Tabelle 3: Landwirtschaftliche Produktionsstrukturen im Umland der mittelalterlichen Stadt, am Beispiel von Südniedersachsen.

Züchtungs- stand	Nähr- stoffe	wichtige Kulturpflanzen	Anbau- zeit	Anbau- form	Ernte- technik	Anbau- fläche	Folgen	
↑ wechselnd, vielfältig ↓	↑ Kohlenhydrate ↓ Proteine ↓ Fette	Roggen Weizen Hafer Gerste	Winter Wi/So Sommer Wi/So	getrennter Anbau und Frucht- wechsel	bodennah, mit der Sichel, erst später mit der Sense	<u>Äcker</u> , vor allem auf frischen, zunehmend stickstoff- und basenarmen Böden (z.B. basenarme Löß- Parabraunerde)	hoher Stoffentzug ↓ Notwendigkeit der <u>Düngung</u> : ↑ sehr hoher Stoffentzug	dennoch <u>Bodenverarmung</u> ↑ Mergeln Mist Brache Brachweide Schafpferch Hausabfälle
		Rispenhirse Ackerbohne Erbse Linse Lein Mohn Hanf	So So So So So So So	↓	die ganze Pflanze wird geerntet, meist durch Herausziehen aus dem Boden; nahezu die ganze Biomasse wird entnommen.	↓	↓	↓
		Gemüse, u.a. Amaranth Kresse Kohl Portulak Rübe Spinat	So	Frucht- wechsel, z.T. mehr- mals im Jahr	↓	<u>Gärten</u> , auf frischen, stets stickstoff- und basenreichen Böden (Hortisol)	↓	allmähliche <u>Eutrophierung</u> durch Intensiv- düngung der Gartenflächen
		Gewürze	Wi/So	↓	↓	↓	↓	↓
		Obst, u.a. Apfel Birne Kirsche Pflaume Pfirsich	an- dauernd	Dauer- kultur	Pflücken der Früchte	↓	↓	↓

Ulrich Willerding

halmknoten hervor. Die zeitgenössischen Erntebilder bestätigen diese Befunde. Sie zeigen außerdem, daß zur Ernte des Getreides im hohen und späten Mittelalter noch die Sichel verwendet worden ist. Die Sense war damals zunächst nur das Gerät für die Grünlandmahd.

Bei Leguminosen und Ölfrüchten erfolgte die Ernte wohl durch Herausziehen der ganzen Pflanze. Das war bei den meisten Gemüsearten ebenso.

Wie die ökologischen Ansprüche der nachgewiesenen Unkräuter zeigen, lagen die Äcker und Gärten durchweg auf frischen, also hinreichend mit Wasser versorgten Böden. Allerdings sind Stickstoffangebot und Basengehalt in den Getreidefeldern oftmals recht gering gewesen. Bei den Böden dürfte es sich weitgehend um basenarme Löß-Parabraunerde gehandelt haben. – Wie einige kalkanzeigende Unkräuter erkennen lassen, gab es daneben jedoch vereinzelt auch kalkreiche Ackerböden. Vermutlich waren das flachgründige, skelettreiche Kalkböden, wie sie beispielsweise in Muschelkalkgebieten zu finden sind.

Ganz anders waren die Gartenböden beschaffen. Basengehalt und Stickstoffangebot waren hier höher. Reste dieser Böden liegen in den Randbereichen der Städte noch als sogenannte Hortisole vor. Diese Böden sind u.a. durch ihren mächtigen Humushorizont gekennzeichnet.

Die verschiedenartige Bodennutzung ist als Ursache dieser unterschiedlichen Entwicklung von Acker- und Gartenboden anzusehen. Bodennahe Ernteweise des Getreides und Ernte durch Herausziehen der ganzen, im Fruchtwechsel angebauten Leguminosen und Ölfruchtpflanzen mußten allmählich zu einer Bodenverarmung führen. Dies gilt selbst für Lößböden.

Auf diese Weise wurde Düngung erforderlich. Wie der mittelalterliche Scherben-schleier im Umkreis der Städte zeigt, erfolgte sie u.a. mit Mist. Außerdem wurde gemergelt, in den Kalkgebieten Südniedersachsens vor allem mit Dauch bzw. lockerem Kalktuffmaterial. Auch Brache, Brachweide und eventuell Schafpferche werden zu einer gewissen Erholung der Böden beigetragen haben. Allerdings reichten diese Bemühungen offenbar nicht aus, um die alte Produktionskapazität der Getreideböden zu erhalten.

Der mindestens ebenso große Stoffentzug aus den Gartenböden ist durch eine wesentlich stärkere Düngung ausgeglichen worden. Neben Mist und Hausmüll fanden möglicherweise auch Fäkalien Verwendung. Jedenfalls kam es gegenüber der Ausgangssituation allmählich sogar zu einer gewissen Eutrophierung der Gartenböden und zur Entstehung mächtiger Hortisole.

4.5 Landschaftsstrukturen

Durch die Analyse fossiler Pflanzenreste vermag die Paläo-Ethnobotanik Erkenntnisse über die Produktionsbedingungen in Acker- und Gartenbau abzuleiten. Das gilt entsprechend für Grünland und Gehölzbestände. Zur Erfassung der nutzungsbedingten Landschaftsstrukturen im Umkreis der mittelalterlichen Stadt müssen jedoch zusätzliche Informationen herangezogen werden (Tabelle 4). Dazu gehört beispielsweise die genaue Kenntnis der damaligen Reliefverhältnisse, der Hydrographie sowie

Tabelle 4: Nutzungsbedingte Landschaftsstrukturen im Umland der mittelalterlichen Stadt, am Beispiel von Südniedersachsen.

OFFENLAND

Acker:	Getreide Leguminosen Ölfrüchte
Sonder- kulturen:	Wein Hopfen Färbepflanzen
Garten:	Gemüse Gewürze Heilpflanzen Obst Zierpflanzen
Aufgelichtete Flächen:	Sammelpflanzen - Wildobst - Heilpflanzen - Farbstoffpflanzen
Grünland	
- Wiese:	1(-2)schürig, meist feucht, wenig produktiv (Auenlehmlagerung)
- Weide:	Magerrasen für Schaf und Ziege (meist Kalkboden), geringe Stoffproduktion
Heide	Weide für Schafe, geringe Stoffproduktion (basenarme Böden)

↑
meist siedlungsnah↓
eher siedlungsfern

GEHÖLZFLÄCHEN

Stockausschlagsflächen	<div> <div>Flechtwerk-Holz</div> <div>Brennholz</div> <div>Kohlholz</div> </div> <div> <div>Zäune</div> <div>Fachwerk</div> <div>Gefäße</div> </div>
Schneitelbäume	Laubheu für die Winter- fütterung des Viehs
Mittelwald	<div>Bauholz</div> <div>Werkholz</div> <div>Flechtholz</div> <div>Brennholz</div> <div>Kohlholz</div> <div> <div>Fachwerk</div> <div>Blockbau</div> </div>
Hudewald (Hutung)	Viehweide für Rind und Schwein (Bauholz) Eichel- und Buchenmast
Hochwald	nur in größerer Siedlungsferne

Ulrich Würling

der geologischen Gegebenheiten. Auf diese Weise kann man einzelne, mit Hilfe der paläo-ethnobotanischen Untersuchungen rekonstruierte Nutzlandflächen bestimmten Landschaftsteilen zuordnen. Besonders wertvoll sind in diesem Zusammenhang aus dem Mittelalter überlieferte Flurbezeichnungen, die Auskunft über die damalige Landnutzung geben. Zu denken ist hier an Namen wie Weinberg, Hopfenberg, Bruch, Masch oder Flachsrotte. Derartige Namen lassen sich in Göttingen bis in das frühe 14. Jahrhundert zurückverfolgen.

Eine weitere Hilfe bei der Rekonstruktion der nutzungsbedingten Landschaftsstrukturen können zeitgenössische Bilder liefern. Sie zeigen im Umkreis städtischer Siedlungen fast durchweg Offenlandsbereiche, die von kleinen Gehölzgruppen durchsetzt sind.

Eine derart gegliederte, offene Landschaft läßt sich auch aufgrund der paläo-ethnobotanischen Analysen ableiten: Die Ackerfluren lagen auf frischen, aber überschwemmungsfreien Böden oberhalb der Fluß- und Bachauen. Teilweise befanden sie sich auch noch in hängigem Gelände. Die Vielzahl der Kulturpflanzen werden ebenso wie die unterschiedlichen Anbau- und Erntetermine zu einer farblichen Belebung dieser Landschaftsteile beigetragen haben. Neben dem Grün bzw. Strohgelb reifender Getreideäcker gab es blaue Flächen der Leinfelder und die zarten, weiß-violetten Farbtöne der Mohnäcker. Ackerbohnen- und Erbsenflächen fielen durch ihre abweichenden Grüntöne ebenso auf wie durch ihre weißen oder auch rötlich violetten Farbtupfen während der Blütezeit. Mehr oder weniger ausgedehnte Gehölzgruppen gliederten die Feldflur. Vermutlich unterlagen solche Gehölze vor allem der Stockholznutzung.

In Bach- und Flußauen befanden sich Grünlandflächen. Dies waren die häufig überschwemmten Gebiete, in denen es damals zur Auenlehm-Ablagerung kam. Wie die nachgewiesenen Grünlandpflanzen zeigen, handelte es sich überwiegend um wenig produktive Feuchtwiesen, die meist nur einschürig nutzbar waren.

Der starken morphogenetischen Entwicklungsdynamik dieser Gebiete entsprechend ist in den Auen mit einem bewegten Mikrorelief zu rechnen. Dies verstärkte die durch Altarme ohnehin schon gegebenen Standortsunterschiede. Kopfweiden und niederwaldartig genutzte Erlenbestände im Uferbereich der Gewässer belebten diese Landschaftsteile zusätzlich.

Auch auf den eher frischen bis trockenen Böden etwas höherer Lagen gab es Flächen mit Stockholznutzung. Hier wuchsen vor allem Haselniederwälder, aus denen der große Bedarf an Ruten und Knüppeln für Flechtzäune und Flechtwerkgefache entnommen werden konnte.

Da der Futterwert des in den Auen gewonnenen Heues relativ gering war, ist anzunehmen, daß Schneitelwirtschaft auch in Südniedersachsen noch lange Zeit eine gewisse Bedeutung gehabt hat. Regelmäßig geschneitete Gehölzbestände, die wertvolles Laubheu für die Winterfütterung lieferten, dürfte es daher wenigstens stellenweise gegeben haben.

Im Sommer kam das Vieh auf die Huteflächen. Wie Nachrichten aus Göttingen und Hötter zeigen, wurden für das Rindvieh dabei die Buntsandsteingebiete des Bramwaldes bzw. des Sollings bevorzugt. In die dort vorhandenen Hudewälder wurden im

Herbst auch die Schweine zur Eichelmast gebracht. Schafe und Ziegen wurden eher auf die enger benachbarten Muschelkalkgebiete des Göttinger Hainbergs bzw. des Ziegenberges bei Höxter getrieben. In diesen eher stadtnahen Gebieten konnten sich auf diese Weise die bezeichnenden Kalkmagerrasen entwickeln. Auf dem basenarmen Ausgangsgestein der Buntsandsteingebiete führte Schafweide zur Entstehung von Heideflächen.

Bauholz, Werkholz, Brennholz und Kohlholz wurde vor allem den mittelwaldartig genutzten Gehölzbeständen entnommen. Sie lagen meist schon in etwas größerer Entfernung von der Stadt. Daß in diesen Landschaften Holzkohlenmeilerei betrieben wurde, zeigen neben mancher Forstortsbezeichnung auch die gelegentlich anzutreffenden Reste von Meilerplätzen.

Kaum von Mensch und Vieh beeinflusste Wälder dürfte es im Umkreis mittelalterlicher Städte kaum gegeben haben. Mit geschlossenen, weitgehend natürlichen Hochwäldern ist daher erst in größerer Entfernung von Siedlungen zu rechnen.

Sonderkulturen wie Weinberge und Hopfenanpflanzungen setzten das Vorhandensein bestimmter Standortstypen voraus. Für die Anlage von Weinbergen waren süd- oder südwestexponierte Hanglagen erforderlich. Dabei wurden Hänge mit steinigem, sich schnell erwärmenden Böden bevorzugt. Weinberge lagen meist in größerer Nähe zur Stadt. Dies gilt auch für die Hopfenflächen. Sie befanden sich vor allem am Hangfuß im Bereich frischer bis feuchter, nährsalzreicher Böden.

Bezeichnend für den Nahbereich der Stadt waren schließlich auch die Gärten. Wie aus der Verbreitung der Hortisole und auch aus manchen zeitgenössischen Abbildungen zu ersehen ist, lagen sie vielfach vor den Toren der Stadt. Der dort betriebene Gemüse- und Obstanbau dürfte eine wichtige Rolle in der Versorgung der städtischen Bevölkerung gespielt haben. Dies gilt entsprechend für die innerhalb der Stadtmauern gelegenen Gärten. Sie befanden sich vor allem in den Gebieten, wo die Bebauung den Mauerring noch nicht erreicht hatte. Einige Befunde zeigen, daß es außerdem auch hinter dem Haus gelegene kleine Hausgärten gegeben hat. Dort wurden vermutlich Zierpflanzen, Gewürzkräuter und wohl auch Gemüse angebaut.

Bezeichnend für die Landschaftsstruktur im Umkreis einer mittelalterlichen Stadt war demnach vor allem die starke Gliederung bzw. Kammerung. Sie wurde durch die vielseitige Nutzung ebenso hervorgerufen wie durch das Vorhandensein zahlreicher, mehr oder minder aufgelichteter Gehölzbestände. Diese Flächen boten den an Waldrändern und Waldverlichtungsflächen beheimateten Wildobstarten hinreichend günstige Wuchsbedingungen. So kann wohl auch das allenthalben reichliche Vorkommen von Belegen der Wildobstarten als Indikator für den Landschaftszustand im Mittelalter angesehen werden.

Infolge der damals noch nicht so stark egalisierend wirkenden Anbau- und Ernte-techniken entwickelte sich in der Landschaft um die mittelalterliche Stadt meist eine große Vielfalt verschiedenartiger Pflanzenbestände. Wie Relikte extensiver Landnutzungsformen zeigen, gibt es innerhalb der einzelnen Nutzflächen einen mosaikartigen Bestandaufbau. Insgesamt ist daher für die mittelalterliche Nutzlandschaft im Umland einer Stadt mit einer großen floristischen und faunistischen Artendiversität zu

rechnen. Sie wurde erst durch die in jüngerer Zeit zunehmend egalisierend wirkenden intensiveren Nutzungsformen erheblich reduziert.

5. Ausblick

Die Rekonstruktion der Lebens- und Umweltverhältnisse im Bereich mittelalterlicher Städte mit Hilfe paläo-ethnobotanischer Untersuchungen hat bereits recht differenzierte Vorstellungen hierzu ermöglicht. Die Analyse fossiler Pflanzenreste ist in diesem Zusammenhang nach Möglichkeit durch die Auswertung zeitgenössischer Schrift- und Bildquellen ergänzt worden.

Nachdem die Grundvorstellungen weitgehend erarbeitet worden sind, werden sich künftige paläo-ethnobotanische Untersuchungen mittelalterlicher Städte insbesondere um Erkenntnisse hinsichtlich regionaler, sozialer und auch zeitlicher Unterschiede zu bemühen haben. Derartige Forschungen lassen zugleich den seither eingetretenen Wandel im Landschaftsbild und damit auch in den Nutzungsstrukturen erkennen.

Literatur

In der unten genannten Bibliographie des Verfassers sind zahlreiche Veröffentlichungen zur paläo-ethnobotanischen Erforschung des Mittelalters erfaßt. In der hier vorgelegten Literaturauswahl werden daher nur einige neuere, die Städte des Arbeitsgebietes direkt betreffende Untersuchungen genannt.

- BEHRE, K.E., 1986: Die Ernährung im Mittelalter. In: HERRMANN, B. (Hrsg.): Mensch und Umwelt im Mittelalter: 74–87.
- MATTHIES, M., 1984: Paläo-ethnobotanische Untersuchungen über Umweltverhältnisse während des Mittelalters und der frühen Neuzeit in Braunschweig. Diplomarbeit, Syst.-Geobot. Inst. Univ. Göttingen: 117 S.
- NEITZERT, D., 1987: Waren und Zölle im mittelalterlichen Göttingen nach einem Göttinger Zollbuch (um 1410). In: DENECKE, D., KÜHN, H.-M. (Ed.): Göttingen, Geschichte einer Universitätsstadt, Bd. 1: 423–436.
- SCHÜTTE, S., 1986: Zur Architektur und Funktion des mittelalterlichen Bürgerhauses in Nordwestdeutschland unter besonderer Berücksichtigung von Beispielen aus Göttingen. In: HERRMANN, B. (Hrsg.): Mensch und Umwelt im Mittelalter: 180–193.
- , 1987: Kulturgeschichtliche Befunde und Funde aus dem hoch- und spätmittelalterlichen Göttingen. In: DENECKE, D., KÜHN, H.M. (Ed.): Göttingen, Geschichte einer Universitätsstadt, Bd. 1: 392–422.
- WILLERDING, U., 1978: Bibliographie zur Paläo-Ethnobotanik des Mittelalters in Mitteleuropa 1945–1977 (Teil 1). Zeitschr. Archäol. Mittelalters 6: 173–223.
- , 1979: Bibliographie zur Paläo-Ethnobotanik des Mittelalters in Mitteleuropa 1945–1977 (Teil 2). Zeitschr. Archäol. Mittelalters 7: 207–225.
- , 1984: Paläo-ethnobotanische Befunde und schriftliche sowie ikonographische Zeugnisse in Zentraleuropa. In: ZEIST, W. van, CASPARIE, W.A. (Ed.): Plants and Ancient Man (Rotterdam/Boston): 75–98.
- , 1985: Ernährung, Gartenbau und Landwirtschaft im Bereich der Stadt. In: MECKSEPER, C. (Ed.): Stadt im Wandel, Landesausstellung Niedersachsen 1985, Katalogband 3, 712 S.: 569–605.

- ,– 1985: Paläo-ethnobotanische Befunde über Ernährung und Umwelt im Mittelalter Braunschweigs. *Forschungen z. Denkmalpflege in Niedersachsen* 3 (Stadtarchäologie in Braunschweig): 201–214.
- ,– 1986: Landwirtschaftliche Produktionsstrukturen im Mittelalter. In: HERRMANN, B. (Hrsg.): *Mensch und Umwelt im Mittelalter*. Stuttgart, 288 S., S. 244–256.
- ,– 1986: Paläo-ethnobotanische Befunde zum Mittelalter in Hörter/Weser. *Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen* 17: 319–346.
- ,– 1987: Landnutzung und Ernährung. In: DENECKE, D., KÜHN, H.-M. (Ed.): *Göttingen, Geschichte einer Universitätsstadt* 1: 437–464.

13.3.1987 in Braunschweig

Stromerzeugung durch thermische Kraftwerke – fossil, nuklear, solar –

(Zusammenfassung)

Von Hans Dieter Baehr

Mehr als 95 % der elektrischen Energie werden in der Bundesrepublik Deutschland durch thermische oder Wärme-Kraftwerke erzeugt. Dies sind Kraftwerke, in denen Primärenergie (chemisch gebundene Brennstoffenergie, Kernenergie oder solare Strahlungsenergie) zunächst in thermische (innere) Energie eines Fluids umgewandelt wird. Diese geht als Wärme an das Arbeitsmedium einer Wärmekraftmaschine über und wird dort teilweise in Wellenarbeit verwandelt; diese treibt den elektrischen Generator zur Gewinnung der elektrischen Energie an.

Eine exergetische Analyse¹⁾ des thermischen Kraftwerks deckt die thermodynamischen Verluste der einzelnen Umwandlungsprozesse auf und zeigt die Gründe, warum nicht mehr als etwa 40 % der eingesetzten Primärenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Die stark irreversiblen Prozesse der Verbrennung, der Kernspaltung und der Absorption von Solarstrahlung sowie der Wärmeübergang an das Arbeitsfluid der Wärmekraftmaschine führen zu großen Exergieverlusten und stellen die eigentlichen Verlustquellen im Sinne des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik dar. Dagegen bleiben die Verluste der Wärmekraftmaschine selbst, dank einer hochentwickelten Kraftwerkstechnik, in tragbaren Grenzen. Der Kreisprozeß der Wärmekraftmaschine muß dazu zwei Forderungen erfüllen: Wärmeaufnahme bei gleitenden Temperaturen, die sich dem Temperaturniveau des Verbrennungsgases bzw. des Fluids im Primärkreislauf eines Kernkraftwerks anpassen, sowie Abgabe der thermodynamisch nicht vermeidbaren Abwärme bei konstanter Temperatur, möglichst nahe der Umgebungstemperatur. Der Carnot-Prozeß kann der ersten Forderung nicht genügen, weswegen in thermischen Kraftwerken ein modifizierter Clausius-Rankine-Prozeß realisiert wird.

¹⁾ vgl. hierzu: H.D. Baehr: Thermodynamik. 6. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer 1988.

10.4.1987 in Hannover

Der Laser – seine Bedeutung in der Wissenschaft

(Zusammenfassung)

Von **Herbert Welling**

Der Laser wurde 1961 zum ersten Mal von Maiman realisiert. Er ist nichts anderes als das jüngste Mitglied in der Familie der künstlichen Lichtquellen, hat jedoch im Vergleich zu anderen Lichtquellen zwei Besonderheiten: einmal zeigt das Licht des Lasers ein sehr hohes Maß an Kohärenz, und außerdem läßt sich die Ausgangsleistung zu extrem hohen Werten steigern.

Der Laser beruht auf dem Prinzip der stimulierten Emission, die bereits 1916 von Einstein in einer theoretischen Abhandlung angegeben wurde. Es besteht kein Zweifel, daß diese neue Lichtquelle in Wissenschaft und Technik eine außerordentliche Bedeutung erlangt hat.

Der Laser hat das physikalische Verständnis um das Licht erheblich vertieft. Noch immer aktuell wird der Laser benutzt, um Licht in bisher nicht bekannten statistischen Erscheinungsformen (squeezed states) zu präparieren. Der Laser wurde wiederholt in der Wissenschaft benutzt, um als Licht kontrollierbares oder übersichtliches Modell bestimmte physikalische Probleme zu studieren. Hier wären zu nennen der Phasenübergang zweiter Ordnung, der beim Laser im Schwellwertbereich geschieht, der Laser als synergetisches System oder der Laser mit einem chaotischen Verhalten.

Beinahe unvorstellbar ist die Mannigfaltigkeit, mit der der Laser als spektroskopisches System eingesetzt wird. Ohne Übertreibung läßt sich sagen, daß die Atom- und Molekülspektroskopie durch den Laser eine außergewöhnliche Renaissance erfahren hat. Durchstimmbare Laser werden heute bei einer Emissionsfrequenz um 10^{15} Hz mit einer Linienbreite deutlich unter 1 Hz kontrolliert. Sie geben damit auch die Chance, als Zeitstandard in den Stabilitätsbereich von 10^{15} bis 10^{18} vorzustoßen.

Wissenschaft ist heute aufwendig. Über den Kulturbeitrag der Wissenschaft hinaus fragt die Öffentlichkeit heute mit Recht nach gesellschaftlichen Konsequenzen. Der Laser hat es leicht, sich zu rechtfertigen. Es gibt in der Medizin mit dem Laser mannigfache, gut vertretbare Behandlungsformen, die deutlich dem Patienten helfen. In der Kontrolle unserer Umwelt dient der Laser als zuverlässiges Überwachungssystem. Auch beim Energieproblem bietet der Laser Chancen. Ganz generell läßt sich sagen, daß mit dem Laser Hochtechnologiebereiche entstehen, die zum Erhalt oder zum Schaffen neuer Arbeitsplätze führen.

Ohne dramatisch wirken zu wollen, läßt sich sagen, daß der Laser mehr Licht in die Welt gebracht hat.

8. 5. 1987 in Braunschweig

Wozu brauchen wir den Amazonaswald?

Von Friedrich Schaller

Die Frage „Wozu brauchen wir den Amazonaswald?“ setzt voraus, daß er uns in irgendeiner Weise auch gehört. Denn in unserem Rechtsempfinden können wir etwas nur brauchen (im Sinne von *inanspruchnehmen*, *nützen*), wenn es uns auch zusteht. Folglich müssen wir erst die Frage stellen: *Wem gehört denn der Amazonaswald?* Seit der Steinzeit hat der Mensch die von ihm zunehmend besiedelte feste Erdoberfläche territorial aufgeteilt und dabei den Anspruch entwickelt, die jeweiligen Territorien bedarfsgemäß zu nützen. Lagerstätten, Energiequellen, Pflanzen- und Tierproduktion nahm und nimmt er so weltweit in Anspruch. Bei geringerer Populationsdichte kommt er dabei mit einfachen extraktiven Methoden zurecht. Dichtere, d. h. höhere Kulturen entwickeln dann sorgfältigere reproduktive Kreislaufsysteme. In Ballungsräumen allerdings kommt es zu Überbeanspruchungen der natürlichen Ressourcen, die freilich meist durch aggressive Nutzung noch unterentwickelter Territorien ausgeglichen werden können.

In diesem Sinne ist unser Planet Erde inzwischen aufgeteilt. Übrig geblieben sind nur noch die Weltmeere und bis zu einem gewissen Grad die Polgebiete.

Allerdings gibt es noch immer große Dichte- und Produktionsunterschiede zwischen diesen Menschenterritorien. Diese Unterschiede haben bekanntlich teils natürliche, teils menschliche Ursachen.

Da ich uns Menschen auch als Stück Natur betrachte, möchte ich anstelle des Begriffspaars „natürlich“ – „menschlich“ in anthropozentrischer Sicht lieber sagen: teils externe, teils interne Ursachen.

Auf jeden Fall tendieren die Verhältnisse überall dort, wo der Mensch sich so weiterentwickelt hat, dazu, daß er aus sogenannter wilder Natur sog. zivilisierte „Kultur“ macht. Am augenfälligsten geschah und geschieht dies dort, wo er bei seiner Ausbreitung und Nutzung auf Wald stößt: Europa, Nordafrika, weite Teile Asiens, Nordamerika liefern anschauliche Beispiele dafür, wie sog. Hochkulturen mit natürlichen Waldökosystemen unvereinbar sind, daß also der Wald dem Menschen weichen muß.

Wobei ich hier einfügen muß, daß unsere Wirtschaftswälder natürlich keine Wälder, sondern nur Forste sind.

Wo es also auf der Erde heute noch wirkliche Wälder gibt, da hat der Mensch offenbar seine territoriale Beanspruchung noch nicht definitiv vollzogen. Ein Blick auf die Weltkarte zeigt, daß dies großflächig nur noch im nördlichen Kanada, in Sibirien und im afrikanischen, südasiatischen und südamerikanischen Tropengürtel der Fall ist. Dort gibt es noch intakte natürliche Waldökosysteme. Das größte und formenreichste unter ihnen ist (mit ca. 4000000 km²) der neotropische Regenwald, den ich der Kürze halber einfach *Amazonaswald* nennen will.

Wir fragen also zunächst: Wem gehört dieser Amazonaswald? Und meinen diese Frage natürlich schlicht anthropozentrisch.

Die autochthonen Bewohner des Amazonaswaldes, die wir gern seine Ur-Einwohner nennen, kamen vor 25 bis 15000 Jahren aus dem Norden (bekanntlich aus Sibirien über die Beringstraße). Als sog. Waldindianer entwickelten sie eine sehr bescheidene, aber stabile Nischenkultur im Walde. Was diese Waldindios dem Wald- und Wassersystem des Amazonas entnahmen, konnte jenes Ökosystem jahrtausendlang offenbar völlig störungsfrei regenerieren. Wald und Mensch blieben autonom und autark. Allerdings, ein Paradies in unserem Sinne ist jener Frühzustand nie gewesen. Der Naturmensch lebt ja als Sammler, Jäger, Fischer und Hackfeldbauer arbeitsaufwendig und gefährdet. Und zu den vielen Existenzängsten im Walde kommt dort die große Territorialangst vor den Artgenossen hinzu. – Aber in bescheidener Definition kann man sagen: Zunächst gehörte und gehört der Amazonaswald den Waldindianern, d.h. jenen Menschen, die tatsächlich nicht nur vom, sondern konsequent *im* Wald leben wollten und wollen.

Wir alle wissen, daß diese Nischen-Idylle im frühen 16. Jahrhundert durch den gewaltsamen Einbruch der europäischen Menschenspezies ein Ende gefunden hat. Die sog. Westliche Kultur brach über den Amazonaswald und seine Ur-Einwohner herein und zwar in 3 Wellen:

1. als iberische (vorwiegend portugiesische) *Conquista* mit nachfolgender Kolonisation und Mission
2. als kapitalistische Extraktionskultur des sog. *Gummibooms* (in der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts).
3. als nationalistische *Integrations-* und Erschließungs- (besser: Anschluß-) Welle des modernen Großstaats Brasilien (und der Amazonasrandstaaten Bolivien, Peru, Ecuador, Kolumbien und Venezuela).

Diese 3 Überfremdungswellen haben die Frage nach dem naturrechtlichen Siedlungs- und Nutzungsanspruch der Waldindianer gar nicht erst gestellt. Ganz im Sinne unreflektierten Naturrechts (des jeweils Gescheiterten und Stärkeren) begründeten Religion, Staats- und Wirtschaftsideo-logie den Besitzanspruch der neuen Siedler und Nutzer. Die jeweils früheren Waldbewohner wurden nicht gefragt, ob sie die mit der jeweiligen Überfremdung zweifellos auch verbundene Entwicklung überhaupt wollten. Kolonisatoren, Missionare, Händler, Gummibarone, Pflanze-r, Städtegründer, Verkehrserschließer, Entwicklungshelfer gingen und gehen von der unreflektierten Gewißheit aus, daß *ihr* jeweiliger Fortschritt und *ihre* Art zu leben *der* einzig erstrebenswerte und *die* einzig lebenswerte seien. Sie verstanden und verstehen sich alle als Glücks-bringer (natürlich auch auf der Basis eines wohlverstandenen und ethisch wohlbegründeten Eigennutzes).

Damit wären wir zu einer 2. Antwort auf unsere Frage: Wem eigentlich der Amazonaswald gehöre – gekommen. Demnach gehörte er nun mehrheitlich den *neuen* Siedlern und Nutzern. Das waren zunächst im Anschluß an die frühe, rüde Kolonisations- und Missionsphase die sog. *Caboclos*, ein gemischter Menschentyp, den man

rassisch als Mestizen bezeichnet und der es schnell verstand, sein indianisches und iberisches Erbe zu einer neuen stabilen Lebens-Kultur zwischen Wald und Wasser zu verbinden. Das Wort Caboclo kommt übrigens aus der dortigen Indianersprache (Tupi) und bedeutet so viel wie „einer, der aus dem Walde kommt“ (Cac-Boc).

300 Jahre lang lebte dieser Caboclo entlang der Wasserläufe am Waldrand auf kleinen Rodungen und entnahm dem Wald und dem Wasser weiterhin nur das Nötige für seine bescheidene Existenz. Größere Waldflächen hinter ihm gehörten immer noch seinen wilden Vettern, den (nun von ihm selber so genannten) Indios. Die sog. *Große Welt* fand während dieser Zeit in den Wald nur Eingang über das naturgebundene Verkehrssystem der Wasserstraßen. Regierungsbeamte und Soldaten der Kolonialmacht, Händler, Kirchenfunktionäre und gelegentliche Forschungsreisende blieben 300 Jahre lang externe Randfiguren.

Der Wald und seine wenigen Bewohner lebten also auch nach der 1. Überfremdungswelle weiterhin noch im ökologischen Gleichgewicht. Auch der *Gummiboom von 1860 bis 1920* hat dieses großflächige Gleichgewicht des Amazonas-Ökosystems nicht wirklich gestört, geschweige denn zerstört. Zehntausende *Seringueiros* zogen zwar im Solde fremden Kapitals durch den Wald und extrahierten die Milch der Gummibäume. Der Wald selber aber blieb dabei intakt. Schlimmer waren die soziologischen Auswirkungen jenes Booms auf die autochthone Bevölkerung, die wenigstens teilweise eine erste Entwurzelung und Entfremdung erfuhr, indem sie neue Konsumwünsche kennenlernte und eine erste Verstädterung erlebte: Belém, Santarém, Manaus, Iquitos wurden zu Gerinnungspunkten des Fremdkapitals. Symbol dieser fiebrigen Fremdinfection ist ja das bekannte Opernhaus von Manaus (1896). Der völlig einseitige extraktive Charakter jenes sog. Gummibooms zeigt sich wohl am deutlichsten darin, daß die Laderäume der Latex-Frachtschiffe auf der Rückfahrt von Europa oft nur mit Steinen zum Bau der Kontore und Villen der Gummibarone gefüllt waren.

Es hat in dieser Zeit also schon neue Besitzansprüche und Besitznahmen gegeben; aber der allergrößte Teil des Amazonaswaldes blieb weiterhin im Verfügungsbereich der Caboclos und Indios. Allerdings lebten die nun seit der sog. Entkolonialisierung (um 1830) nicht mehr als Kolonialvolk auf zwar fremdbeherrschtem, aber letzten Endes doch eigenem Grund, sondern als Bürger auf dem Boden eines eigenen Staates, der zwar jedem das Stück Land, das er nutzte, auch als Eigentum überließ, der aber nun den Rest-Wald als Staatseigentum grundsätzlich in Anspruch nahm.

Damit sind wir beim 3. Schritt in der Beantwortung unserer Frage angelangt: *Heute* gehört der Amazonaswald primär nicht mehr seinen autochthonen Bewohnern. Sein rund 4000000 km² großes Arsenal ist auf mehrere Staatsterritorien aufgeteilt. Welche Konsequenzen das hat, wollen wir nun nur am Beispiel eines dieser Staatsterritorien betrachten. Es ist weitaus das größte von ihnen und hat auch im Zentrum den innerstaatlichen Namen *Amazônia* erhalten: Ich meine das brasilianische Amazonasgebiet, das die Staaten *Amazônia* und *Pará* umfaßt.

Spätestens seit 1963, als die brasilianische Regierung (noch in Rio) die *Integração* der Selva beschloß, die *Zona Franca* (Freihandelszone) von Manaus einrichtete und den phantastischen Plan eines Straßensystems im Amazonaswald vorlegte (das heute

unter dem Namen *Transamazônica* allgemein bekannt ist) – seit den frühen 60er Jahren also, ist nun unsere eingangs gestellte Frage klar zu beantworten: *Der Amazonaswald gehört, wo und solange es ihn noch gibt, grundsätzlich dem brasilianischen Staat. Auch die Frage, wozu der ihn braucht, ist damit beantwortet. Nämlich: Brasilien braucht seinen Amazonaswald eben für seine Bürger!*

Damit sind nun aber nicht nur die knapp 2 Millionen autochthoner Bewohner des Waldgebietes selbst gemeint, sondern alle siedlungswilligen brasilianischen Staatsbürger gleich welcher Herkunft. Zum kommerziell-kapitalistischen ist der sozial-nationalistische Lebensraum-Anspruch hinzu gekommen. Ein Großstaat wie Brasilien kann in seinem Souveränitätsbereich so ein riesiges Naturgebiet ja auch einfach nicht ungenutzt lassen. Böden, Bodenschätze, Wasserkräfte gehören der Nation und fordern zur Nutzung heraus. Es geht nicht mehr nur um das bescheidene Leben einiger Waldbewohner, auch nicht um die Rendite einiger Kapitalisten, sondern um die Entwicklung eines Lebensraums für Millionen künftiger glücklicher Bürger. Da muß der Wald auf weiten Flächen weichen und durch ökonomisch produktivere Systeme ersetzt werden.

Es gibt in Brasilien nicht wenige führende Köpfe, die meinen, ja glauben, daß Amazonien die künftige Heimat von 500 Millionen glücklicher Mitbürger sein wird. Mit dieser Vorstellung läßt sich allerdings die Weiterexistenz des Amazonaswaldes in seiner bisherigen Form nicht vereinbaren. Anstelle von 1–2 Menschen pro km² würden dann ja 100 Artgenossen dort siedeln und wirtschaften. Da bleibt bestenfalls noch Platz für forstliche Plantagenbetriebe.

Nun lautet aber doch das Thema meines Vortrags gar nicht: „Wozu brauchen die Brasilianer ihren Amazonaswald?“, sondern: „Wozu brauchen wir den Amazonaswald?“

Geht es uns überhaupt etwas an, wenn irgendwo in der Welt Mitmenschen auf ihrem Souveränitätsterritorium, also auf eigenem Grund und Boden, für sich und ihre Mitbürger existenzfördernd tätig werden und dabei in ihre Ökosysteme eingreifen?

In unserem Fall: Was geht *uns* der Amazonaswald eigentlich an? Haben wir das Recht, den Brasilianern in ihre Lebensraumnutzung dreinzureden? Oder: Wozu brauchen *wir* (hier in Europa, 10000 km weit vom Amazonas entfernt) den Amazonaswald?

Auf diese Frage läßt sich folgendes sagen:

1. Die Fortschrittsmentalität, die als Antriebsmoment hinter dem politisch-wirtschaftlichen Handeln der jetzigen brasilianischen Führungsschicht wirksam ist, stammt aus der europäisch-westlichen Welt, ist also von uns importiert.
2. Auch viel Kapital und manche sog. Entwicklungsidee haben letzten Endes *wir* zum Amazonas hinübergeliefert.
3. Wir besitzen nicht nur die älteren ökonomischen Erfahrungen, sondern auch das aktuelle Wissen um die verletzlichen Zusammenhänge zwischen Ökonomie und Ökologie.

4. Wir haben viele Entwicklungsfehler schon gemacht und wissen, daß wir bisher nur wegen unserer glücklicheren edaphischen und klimatischen Grundbedingungen ohne Katastrophe über die Runden gekommen sind.
5. Wir kennen auf Grund unserer wissenschaftlichen Einsichten die Einmaligkeit und *genetische Unwiederbringlichkeit der tropischen Waldökosysteme* und tragen somit auch Verantwortung für sie. Wir wissen vor allem, daß ihre Produktionskraft nicht beliebig austauschbar ist.
6. Wir müssen darüber hinaus befürchten, daß die Rodung der tropischen Regenwälder sogar weltweite klimatische und ökologische Folgen hat (CO₂-Zunahme?).

Wir Europäer sind also durchaus mitbetroffen vom Geschehen im Amazonaswald und tragen Mitverantwortung für ihn. Es ist keine Einmischung in die inneren Angelegenheiten Brasiliens und der anderen Amazonasstaaten, kein Rückfall in den Kolonialismus, wenn wir uns politisch, wirtschaftlich um den Amazonaswald kümmern. In gleicher Weise darf es uns auch nicht egal sein, was etwa die Kanadier oder die US-Amerikaner in Alaska mit ihren Wäldern tun, oder was die Russen in Sibirien, die Chinesen in Tibet oder die Indonesier auf Borneo treiben. Diese letzten großen noch natürlichen Ökosysteme erscheinen ja heute gefährdeter als je zuvor, da sie aus der Freibeuterhand fremder Kolonisatoren in die Planungshand eigenstaatlicher Entwicklungsdenker geraten sind.

Ich möchte die Behauptung aufstellen, daß der neuzeitliche innerstaatliche Kolonialismus, wie ihn die Amerikaner in Alaska, die Russen in Sibirien, die Chinesen in Tibet betreiben, schlimmer ist als der vielgeschmähte Fremdkolonialismus alter Zeiten. Damals hatten die Kolonialherren noch das Gewissen, das ja immer mit dem Wissen um Fremdherrschaft verbunden ist. Die heutigen innerstaatlichen Fremdherrscher hingegen sind zutiefst von der Berechtigung und Rechtfertigung ihrer Entwicklungspläne durchdrungen, da sie doch im Auftrag und Interesse ihres eigenen Staatsvolkes zu handeln vermeinen. *Ich* meine nur, daß weder die Mehrheit der Eskimos oder Tungenen und sicher nicht die Mehrheit der autochthonen Indios und Caboclos am Amazonas jemals gefragt worden sind, ob sie das gebotene Entwicklungsglück aus Washington, Moskau oder Rio bzw. Brasilia auch tatsächlich wünschten. Man brennt ihren Wald nieder, staut ihre Ströme auf, gräbt ihre Bodenschätze aus, bevor sie sich ihrer Eigenständigkeit überhaupt bewußt werden können. So geht auch am Amazonas mit der ökologischen und genetischen Vielfalt des Waldökosystems auch die ethnische und kulturelle Vielfalt seiner autochthonen Bevölkerung verloren. Ein solcher Differenzierungsverlust ist keine bloß nationale Angelegenheit; er betrifft uns alle und fordert das Gewissen der ganzen denkenden Menschheit heraus.

Zum Schluß nur eine Andeutung, wie ich mir vorstellen könnte, daß dieses Wissen und Gewissen in praktische internationale Politik umgemünzt werden könnte: Den Staaten mit inneren Kolonien sollte die Weltbank oder ein anderes geeignetes Gremium Entwicklungshilfe dafür zahlen, daß sie ökologisch ausreichend große Areale ihrer Naturlandschaften aus ihrer wirtschaftlichen Explorations- und Erschließungsplanung definitiv und vollständig ausgrenzen. Am Amazonas würde das bedeuten, daß einige

der von uns Biologen bereits nachgewiesenen Artenzentren (Refugialgebiete) von jeder weiteren land- und forstwirtschaftlichen, verkehrs- und produktionstechnischen Erschließung auszunehmen und den bisherigen Waldbewohnern in gewohnter autonomer Nutzung zu überlassen wären. Das wären dann keine tierparkähnlichen Indianerreservate, sondern Waldareale, in denen das gesamte Ökosystem aus Pflanzen, Tieren und Menschen sich weitgehend selbstregulierend erhalten könnte. Wer weiß heute denn, wozu solche Naturrefugien und Gen-Reservate eines Tages noch nötig und nützlich sein werden? Jedenfalls soll das heißen, daß nicht nur die Brasilianer, sondern wir alle den Amazonaswald um seiner selbst willen brauchen.

11.7.1987 in Clausthal-Zellerfeld

Möglichkeiten zur Heißentschwefelung von Kohlegas

(Kurzfassung)

Von **Klaus Schwerdtfeger**

Kohle ist als Energieträger oder Chemierohstoff nicht universell einsetzbar. Dies ist aber der Fall, wenn die Kohle vergast wird. Das entstehende Gas kann als Brenngas, als Energieträger im Kraftwerk, als Synthesegas für die chemische Industrie und als Reduktionsmittel in der Metallurgie benutzt werden. Störend wirkt sich bei allen Anwendungen der Schwefelgehalt des Gases aus. Bei einem Schwefelgehalt der Kohle von 1% beträgt die Schwefelwasserstoffkonzentration des Gases ca. 0.3 Vol.-%. Eine Entschwefelung des Gases ist mit naßchemischen Verfahren bei tiefen Temperaturen möglich. Wird aber das Gas unmittelbar nach seiner Erzeugung bei hoher Temperatur eingesetzt, so ist eine Heißentschwefelung zweckmäßig, da hierbei die durch Abkühlen und Wiederaufheizen entstehenden Energieverluste sowie die Abscheidung von Spaltungskohlenstoff (bei stark reduzierenden Gasen) vermieden werden. Besonders vorteilhaft ist eine Heißentschwefelung des Gases im kombinierten Gas-Dampfturbinenkraftwerk. **Bild 1** zeigt das vereinfachte Schema eines solchen Kraftwerkes. Nach den derzeitigen Projektierungsvorschlgen wird das Gas naßchemisch entschwefelt. Es muß dazu nach dem Austritt aus dem Kohlevergaser in zwei Stufen abgekühlt werden (HT, NT). Das geschieht in einer komplizierten Anlage, die aus mehreren Wärmetauschern und weiteren Aggregaten besteht. In der Alternative würde dieses System durch eine einfachere Heigasentschwefelung ersetzt, in der das Gas auf demselben Temperatur- und Druckniveau, mit dem es aus dem Kohlevergaser austritt, gereinigt würde. Zur Zeit gibt es keine praktikable Technologie für eine Heißentschwefelung.

Heißentschwefelung mit festem Kalk

Eine Heißentschwefelung ist prinzipiell möglich mit festen Oxiden und Carbonaten, flüssigen Oxiden (Schlacken) und Salzschnelzen, festen Metallen und Metallschnelzen. Das wichtigste schwefelhaltige Molekül in wasserstoffhaltigen Gasen ist der Schwefelwasserstoff. Vielfach untersucht wurde die Entschwefelung mit Kalk. Sie verläuft nach der Gleichung



und führt zu sehr geringen H₂S-Gehalten, wenn das Gas wenig H₂O und CO₂ enthält, z.B. liegt der thermodynamisch erreichbare Endgehalt bei einem Ausgangsgehalt von 0.3% H₂S bei 1200 K bei 0.00059%.

Schwierigkeiten bestehen im Zusammenhang mit der Weiterverwendung des CaS-haltigen Produktes, da CaS nicht deponiert werden kann und auch nicht ohne weiteres

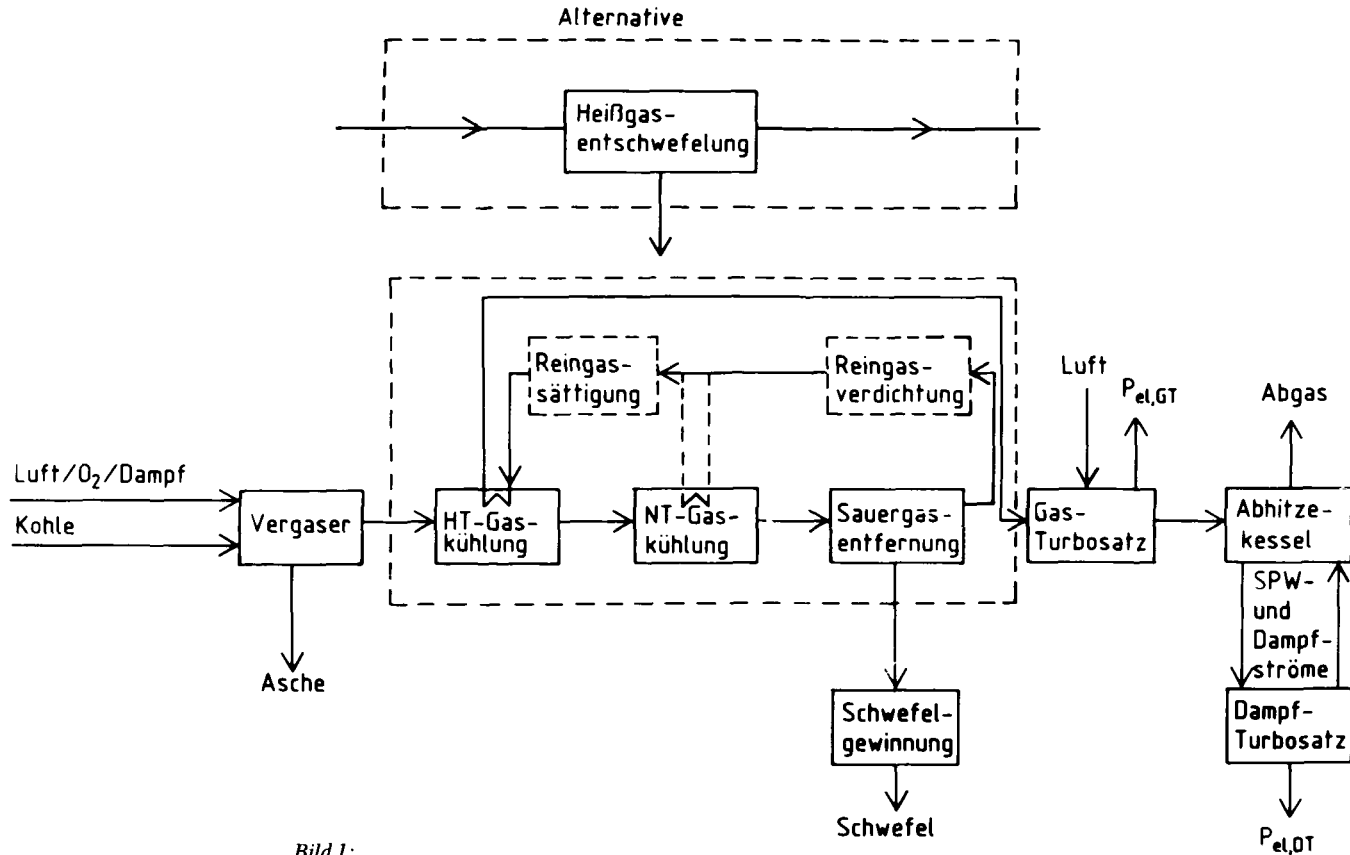


Bild 1:
Schema eines Kombi-Kraftwerkes.

zu Sulfat (Gips) oxidierbar ist. Wünschenswert wäre die **Regeneration** zu CaO. Am einfachsten wäre eine einstufige Regeneration entsprechend der Gleichung



Da die hierfür notwendigen Temperaturen zu hoch sind, ist ein solcher Prozeß unpraktisch. Bei einer zweistufigen Regeneration würde man bei Temperaturen von 1000 bis 1200°C das CaS zunächst mit Luft anoxidieren, d. h. zum Teil in CaSO₄ überführen:



Danach würde das Sulfat mit dem übriggebliebenen Sulfid zu CaO und SO₂ reagieren gemäß



Diese Reaktion muß bei niedrigem O₂-Partialdruck durchgeführt werden. Das sich bildende SO₂ wird also mit Inertgas oder durch Absaugen ausgetragen.

In eigenen Versuchen wurden Aufschwefelung und Regeneration von Kalkteilchen thermogravimetrisch untersucht, **Bild 2**. Die Aufschwefelung erfolgte mit H₂-H₂S-Gemisch, welches 0.6% H₂S enthielt, bei 1000°C, die Oxidation mit Luft bei 1160°C. Anschließend wurde mit Argon gespült. Das Bild zeigt den Gewichtsverlauf über mehrere Zyklen. Es ist ersichtlich, daß die Schwefelaufnahme in der Aufschwefelungsphase mit zunehmender Zyklenzahl abnimmt. Dieser Befund wurde auch von anderen Autoren festgestellt. Der Abfall an Reaktivität ist auf Sintervorgänge zurückzuführen, durch welche die Porosität und innere Oberfläche verringert werden. Eine zweistufige Regeneration nach dem vorgeschlagenen Schema ist, jedenfalls über mehrere Zyklen, nicht ohne weiteres durchführbar.

Zielsetzung der Arbeit war, einen kalkhaltigen Absorber zu entwickeln, der seine Reaktivität behält. Es zeigte sich, daß durch bestimmte Zusätze eine Reaktivitätsverbesserung erzielt werden kann.

In **Bild 3** werden Ergebnisse thermogravimetrischer Versuche dargestellt, welche mit einem solchen modifizierten Kalk erhalten wurden. Die Aufschwefelung erfolgte mit H₂-H₂S-Gas im Kurventeil a. Dann wurde mit Luft kurz oxidiert, Kurventeil b. Dabei sinkt zuerst das Gewicht, dann steigt es an. Zuerst wird also überwiegend CaO, dann überwiegend CaSO₄ gebildet. Im Bereich c sollen Sulfat und übriggebliebenes Sulfid zu Oxid reagieren. Das dabei freiwerdende SO₂ wird mit Stickstoff ausgetragen. Im ersten Zyklus ist die Aufschwefelungsgeschwindigkeit etwas geringer. Die 9 weiteren Zyklen sehen sehr ähnlich aus. Dann wurde der Versuch abgebrochen. Die Reaktivität bleibt also erhalten.

Mit dem neuen Entschwefelungsmittel wurden Versuche in einem Festbettreaktor durchgeführt, wobei während der Entschwefelungsphase das Abgas auf H₂S und während der Regenerationsphase auf SO₂ analysiert wurde. **Bild 4** zeigt die H₂S-Gehalte während der Entschwefelungsphase. Sie sind zunächst sehr niedrig und liegen in der Nähe der Gleichgewichtskonzentration von 0.003%. Der Durchbruch erfolgt recht scharf nach ca. 10 Stunden. Bis zum 4. Zyklus ändert sich wenig, danach verschlechtert sich das Verhalten.

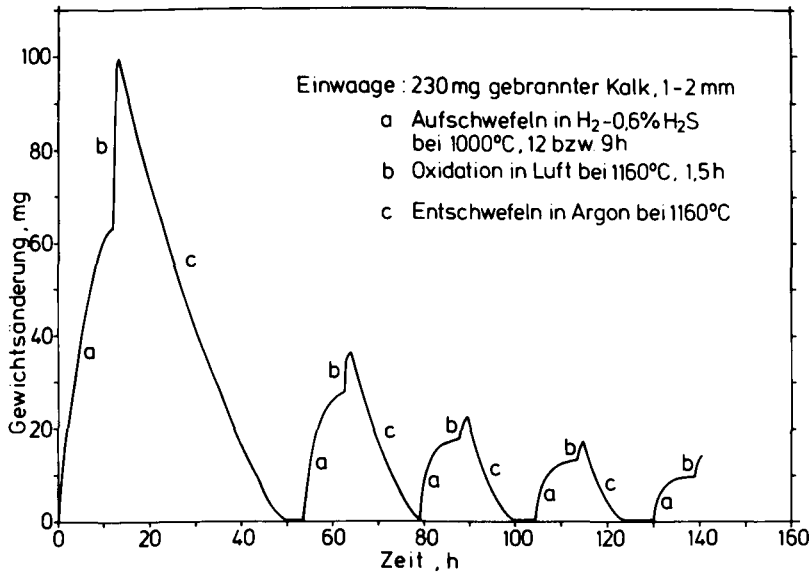


Bild 2:

Aufschwefelung und Regeneration von CaO -Teilchen im thermogravimetrischen Versuch. Die Reaktivität nimmt ab.

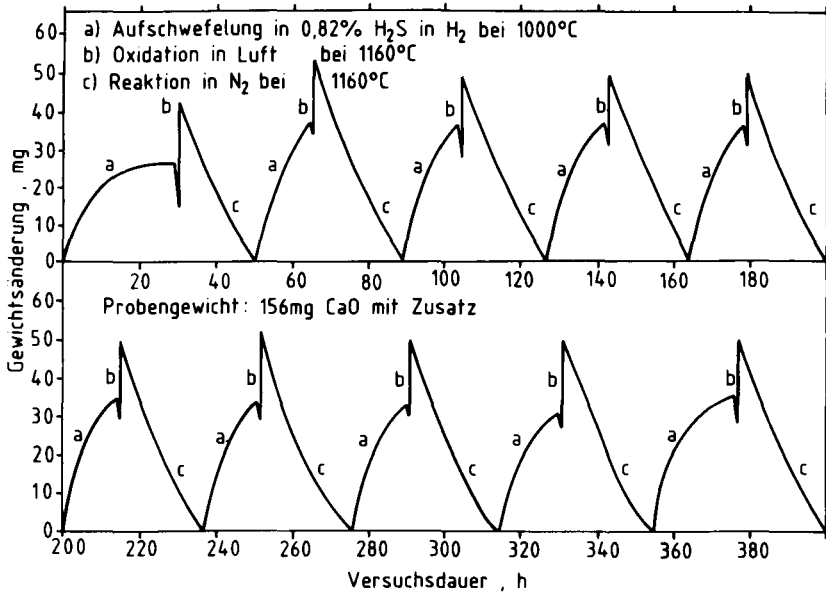


Bild 3:

Aufschwefelung und Regeneration von Pellets aus modifiziertem Kalk im thermogravimetrischen Versuch. Die Reaktivität bleibt über viele Zyklen erhalten.

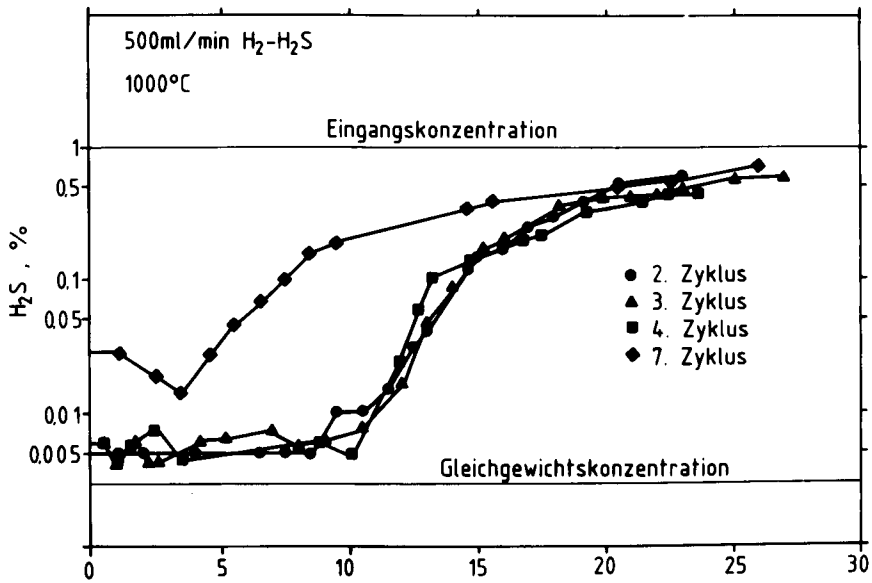


Bild 4:
 H_2S -Gehalte im Gas am Ausgang des Reinigungsreaktors während der Entschwefelungsphase bei Verwendung des Absorbers aus modifiziertem Kalk.

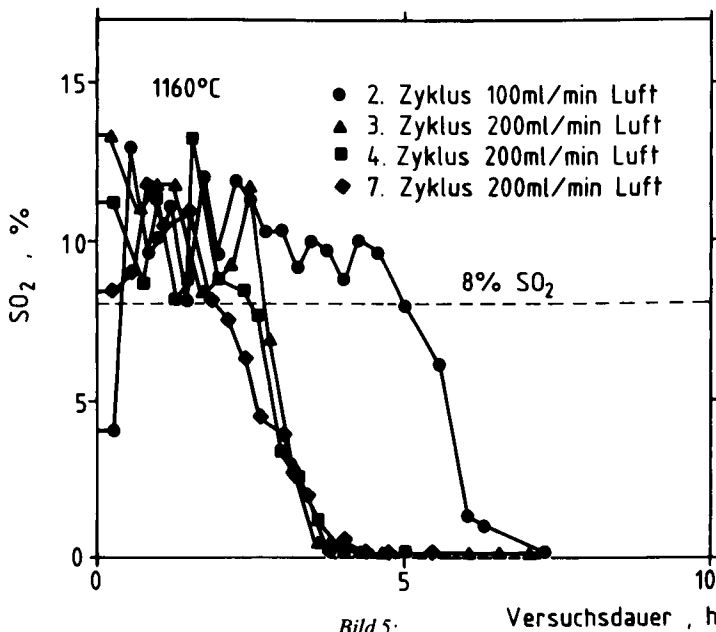


Bild 5:
 SO_2 -Gehalte im Gas am Ausgang des Reinigungsreaktors während der Regenerationsphase bei Verwendung des Absorbers aus modifiziertem Kalk.

In **Bild 5** sind die zugehörigen SO_2 -Gehalte der Oxidationsphase dargestellt. Am Anfang liegen die SO_2 -Gehalte zwischen 8 und 13 %, sind also für eine Weiterverarbeitung des Gases (z. B. Schwefelsäureherstellung) ausreichend hoch. Sie sinken ab, wenn etwa die Hälfte des Schwefels abgebaut ist (ca. 3 Stunden bei 200 ml Luft/min). Bei der anschließenden Spülung mit Stickstoff kann der Restschwefel abgebaut werden. Allerdings sind die SO_2 -Gehalte unter 0.5 %, und bis zur vollständigen Regeneration muß man 100 oder mehr Stunden spülen.

Die Untersuchungen zeigen, daß durch Zusätze die Reaktivität von „Kalk“ über viele Zyklen aufrecht erhalten werden kann. Von Nachteil ist immer bei der Verwendung von Kalk, daß an die Oxidationsphase eine weitere Phase unter niedrigem Sauerstoffpartialdruck (Inertgas, Vakuum) anzuschließen ist, in welcher das anoxidierte Material zu Ende reagiert und die sehr langsam verläuft. Zur Zeit wird versucht, Zusätze zu finden, mit denen diese Reaktion beschleunigt werden kann.

Heißentschwefelung mit Kupfer

Es wurden kupferhaltige Pellets entwickelt, mit denen die Entschwefelung des Kohlegases nach der Reaktion

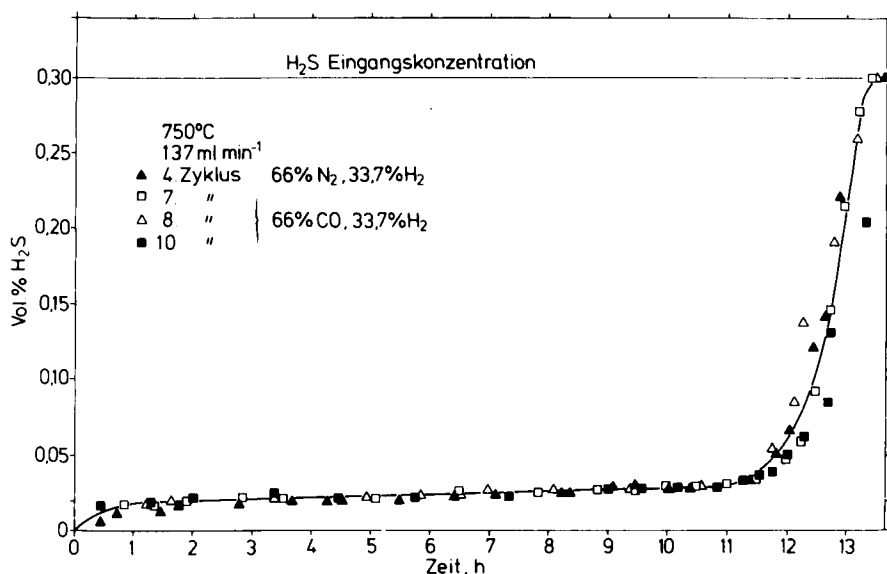


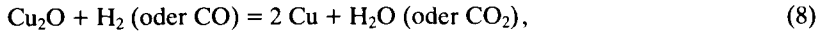
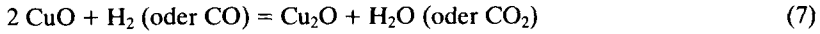
Bild 6:

H₂S-Gehalte im Gas am Ausgang des Reinigungsreaktors während der Entschwefelungsphase bei Verwendung des kupferhaltigen Absorbers.

erfolgt. Die Regeneration ist einfach. Sie geschieht nach den bekannten Röstreaktionen



Anschließend wird reduziert entsprechend



und das Material ist wieder im Anfangszustand.

Bild 6 zeigt den H_2S -Gehalt am Ausgang des Festbettreaktors als Funktion der Zeit während der Entschwefelungsphase für die Zyklen 4, 7, 8 und 10. Über die meiste Zeit ist der H_2S -Gehalt kleiner als 0.03%, d.h. das Gas mit anfangs 0.3% H_2S wurde zu mehr als 90% entschwefelt. Der Durchbruch erfolgt scharf innerhalb von ca. 15% der Reaktionszeit. Die entsprechenden SO_2 -Gehalte während der Oxidationsphase zeigt **Bild 7**. Es werden ca. 10% SO_2 erreicht, und dieses Niveau bleibt über die Hälfte der Oxidationszeit erhalten. Die Oxidationsphase ist kurz gegenüber der Entschwefelungs-

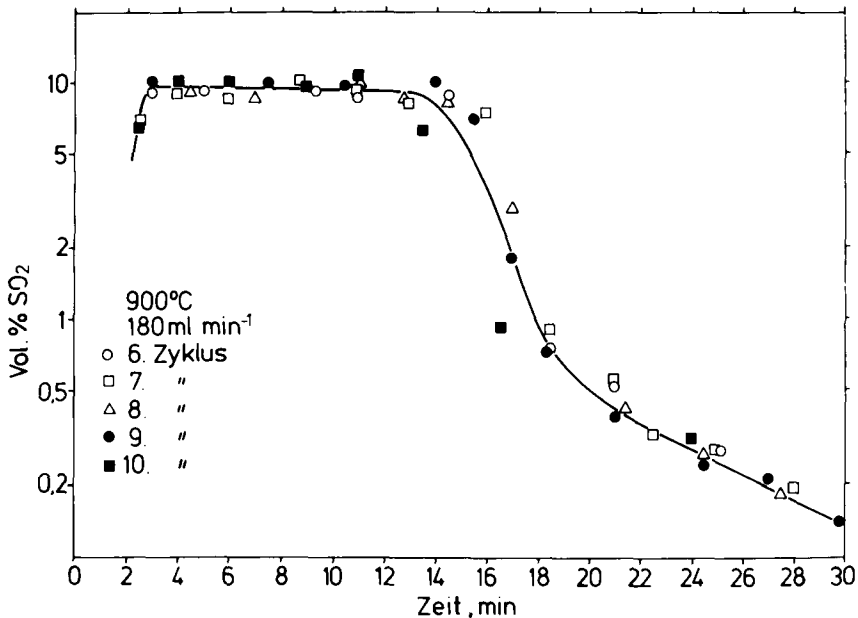


Bild 7:

SO_2 -Gehalte im Gas am Ausgang des Reinigungsreaktors während der Oxidationsphase bei Verwendung des kupferhaltigen Absorbers.

phase, weil der Schwefelgehalt des Gases viel höher ist. Die Untersuchung der Pellets nach dem Versuch zeigte keine sichtbare Veränderung. Es ist also zu folgern, daß man reduzierendes Gas mit Absorber aus Kupfer in inerte Matrix effektiv entschwefeln kann, daß der Regenerationsprozeß einfach ist und die Reaktivität des Absorbers über viele Zyklen unverändert bleibt. Diese Arbeit ist veröffentlicht in Met. Trans. B 18B (1987) 603–609.

9. 10. 1987 in Braunschweig

Rechtstechnik des Rechts der Technik

Von **Werner Thieme**

Recht und Technik sind zwei Gegenstände, die nicht erst seit jüngerer Zeit, sondern schon seit langem miteinander zu tun haben, wahrscheinlich so lange es eine Technik, welcher Art auch immer, gibt. Technik bedeutet Segen und zugleich Gefahr für den Menschen. Das Recht der Technik befaßt sich daher nicht nur mit der Förderung der Technik. Sicherlich ist auch das eines der Themen etwa wie Subventionen, die staatliche Unterstützung, die Ausbildungsproblematik und manches mehr. Ich möchte mich heute darauf beschränken, über die Frage zu sprechen, wie das Recht mit den Gefahren fertig wird, die von der Technik ausgehen. Welcher Mittel, welcher Rechtstechnik sich dieses Recht der Technik bedient. Es geht um Gefahren, die von Maschinen ausgehen, die im Verkehr drohen, die chemische Anlagen mit sich bringen, und vor allem die Gefahren der modernen Energiewirtschaft, voran der Kernkraft, sowie Gefahren die die Umwelt bedrohen.

Das Recht hat mehrere mögliche Reaktionsweisen: Es kann nachträglich reagieren, in dem es die realisierte Gefahr, d.h. den Schaden durch eine Schadensersatzforderung auszugleichen versucht oder dadurch, daß es den Schädiger, der schuldhaft gehandelt hat, bestraft. Mir geht es mehr um die präventive Sicherung vor möglichen Schäden, die von der Technik ausgehen können. Welche Mittel stehen dem Recht zur Verfügung und wie setzt es diese Mittel ein? Zwei Hauptfragen stehen im Vordergrund:

1. Wie hat das Normensystem auszusehen, das die notwendige Sicherheit bringt, sowohl die technische als auch die Rechtssicherheit, und das zugleich der schnellen Entwicklung der modernen Technik und ihrer Kompliziertheit Rechnung trägt?
2. Soll der Staat allein das Sicherungssystem übernehmen oder kann er dies an Wirtschaft und Gesellschaft übergeben? Wenn er dies tut, welche Implikationen ergeben sich dann?

Beide Fragen hängen auf das Engste zusammen. Beide führen auf Zentralprobleme der Rechtsnormentheorie und der juristischen Technik. Mit der Problematik der staatlichen Hoheit und ihres Monopols reichen sie auch in Fragen der Staatstheorie hinein. Wenn ich über die Rechtstechnik des Rechts der Technik spreche, so handelt es sich also nicht nur um rein technische Fragen, d.h. um Fragen, die nur als Fragen zweiter oder dritter Wichtigkeit unsere Aufmerksamkeit beanspruchen dürfen, sondern um Fragen von größerer Bedeutung.

Das Recht der Technik ist so breit, daß ich es hier nicht im einzelnen vorstellen kann. Ich will es auch nicht definieren, denn es genügt anhand einiger Beispiele, die ich Ihnen in der Folge vorstellen werde, deutlich zu machen, worum es geht. Aber einige allgemeine Bemerkungen seien vorweg erlaubt: Das Recht der Technik, das sich vor allem in technischen Normen niederschlägt, ist außerordentlich detailliert und speziali-

siert. Dieses Recht reagiert damit auf die Technik und ihre Eigenart selbst, nämlich auf deren Spezialisierung und technische Verfeinerung.

Damit stoßen wir auf das erste Problem. Die Verfassung schreibt vor, daß Gesetzgebung, vollziehende Gewalt und Rechtsprechung in den Händen besonderer Organe liegen und weist die Gesetzgebung dem Parlament zu. Damit ist im Grunde die gesamte Rechtssetzung auf dem Gebiete der Technik dem Parlament übergeben. Daß die Parlamente, sei es der Bundestag, seien es die Landtage, nicht in der Lage sind, die Normenfülle, die die Technik braucht, selbst zu erlassen, um Sicherheit zu gewährleisten, ist einsichtig. Mit Recht wird der Bundestag zuweilen kritisiert, daß er sich zu wenig mit den großen politischen Fragen befaßt und sich stattdessen den Quisquilien technischer Einzelfragen hingibt, die doch nur wenige Abgeordnete jeweils verstehen.

Daher muß im Bereiche des Rechts der Technik von der Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, die Rechtsetzungsgewalt auf die Regierung oder auf einzelne Minister zu delegieren. Die Masse der technischen Normen sind daher nicht Parlamentsgesetze, sondern Rechtsverordnungen. Das bekannteste Beispiel ist das Straßenverkehrsrecht, bei dem der Bundestag lediglich ein recht knappes Straßenverkehrsgesetz gemacht hat, während die Masse des Stoffes in Rechtsverordnungen niedergelegt ist, vor allem in der Straßenverkehrsordnung und in der Straßenverkehrszulassungsordnung.

Derartige Rechtsverordnungen sind nun allerdings nicht Rechtsnormen zweiten Ranges, sondern haben im Verhältnis von Staat und Bürger und von Bürger zu Bürger genau dieselbe Bedeutung wie die Parlamentsgesetze. Eine Verletzung der Rechtsverordnungen kann zu Schadensersatz, Bußgeld oder gar Strafe führen. Die Frage, ob der Kraftfahrer wegen fahrlässiger Tötung im Straßenverkehr zu bestrafen ist, hängt vielfach daran, ob er eine dieser technischen Normen nicht beachtet hat. Insofern setzt die Regierung das technische Recht mit allen seinen u. U. harten Konsequenzen.

Die Bedeutung des Rechts der Technik führt zu der Forderung, daß die technischen Normen möglichst deutlich, eingehend und umfassend formuliert werden. Es sollen alle möglichen Eventualitäten berücksichtigt werden, um von vornherein Zweifeln auszuräumen. Das ist etwa wichtig für die Frage der Errichtung von Anlagen und Bauwerken oder des Einsatzes von Arbeitsmitteln. Derjenige, der sich dieser technischen Vorrichtungen und Einrichtungen bedienen will, will wissen, woran er ist. Er muß sich darauf einstellen können. Das Gebot der Rechtsstaatlichkeit, eine der obersten Normen unseres Grundgesetzes, eines der Staatsziele, wie der Jurist zu sagen pflegt, verlangt die Ausführlichkeit, Bestimmbarkeit und Berechenbarkeit der Norm.

Das ist aber nicht nur eine Forderung der Rechtstheorie, sondern es ist auch für die Wirtschaft von entscheidender Bedeutung, daß sie weiß, welche Vorschriften sie zu beachten hat, weil davon ihre Kalkulationsgrundlagen und die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes bestimmter technischer Systeme abhängen.

Es dient aber auch dem Rechtsfrieden, weil man bei der Verhandlung mit der Genehmigungs- oder Aufsichtsbehörde Standpunkte beziehen kann. Sofern dennoch Streit entsteht, gibt die exakte und eingehend formulierte Rechtsnorm dem Gericht die Möglichkeit zu einer voraussehbaren Entscheidung.

Freilich ist zu bemerken, daß die Berechenbarkeit der Rechtsnorm eine Idealvorstellung ist. Die Realität sieht leider etwas anders aus. Zunächst einmal ist darauf hinzuweisen, daß das Ideal der Bestimmtheit und Genauigkeit auch seine Kosten hat. Das beginnt beim Normierungsverfahren, den immanenten Schwierigkeiten zur Findung einer idealen Formulierung und der Dauer des Normierungsverfahrens. Dies führt nicht selten dazu, daß der Abschluß des Normierungsverfahrens länger auf sich warten läßt. Zwischendurch steht entweder keine Norm oder eine veraltete oder schnell veraltende Norm zu Verfügung, die u. U. den technischen Fortschritt hemmt. Der Erneuerungsbedarf unseres Normensystems wird um so größer je exakter, eingehender und genauer die Normen gefaßt sind. Unser Normensystem will ja auf die jeweils bestehende und sich verändernde technische Entwicklung reagieren und je schneller die Entwicklung der Technik läuft, um so schneller muß sich auch das Rad der Gesetzgebung drehen.

Ein zweites Problem ist die Frage des Zugriffs auf die Normen. Es genügt nicht, daß die Normen einmal erlassen worden sind. Normen wirken nicht von selbst; sie wirken nur dann, wenn die Menschen sie anwenden. Und das setzt voraus, daß die Menschen, die die Normen anwenden sollen, diese auch kennen und, sofern sie sie noch nicht kennen, in der Lage sind, sich Kenntnis zu verschaffen. Und je mehr Normen es gibt, d. h. je mehr das Ideal der Bestimmtheit, Genauigkeit und Vollständigkeit des Normensystems verwirklicht wird, desto schwerer wird es, alle Normen zu finden, die im einzelnen Falle einschlägig sind. Sicherlich gibt unsere moderne Informationstechnik uns Möglichkeiten, besser als früher auf die Normen zuzugreifen. Aber es bleibt dennoch der Tatbestand: Die Fülle der Normen, die die Technik regeln, und die Sicherheit vor den Gefahren der Technik schaffen wollen, ist so groß, daß nur der Spezialist seinen jeweiligen Normenkomplex noch kennt und sich einigermaßen die Gewißheit verschaffen kann, daß keine der anzuwendenden Normen übersehen worden ist. Es sind daher u. U. eine ganze Reihe von Spezialisten zu befragen, ehe man sicher gehen kann, daß die einschlägigen Normen wirklich beachtet sind. Es ist also so, daß der Segen des umfassenden Normierungssystems, das die Rechtssicherheit bringt, zugleich die Gefahren des Übersehens von Normen mit sich führt oder doch mindestens die Anwendung dieses komplizierten Systems durch Einsatz der Spezialisten verteuert. Es stellt sich die Frage, ob das Rechtssystem dadurch besser wird, daß es immer mehr verfeinert wird, ob nicht der Grenznutzen sinkt.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, daß eine größer werdende Zahl von Rechtsnormen auch Konkurrenzprobleme schafft. Es ist ja nicht einfach so, daß man ohne weiteres alle Normen anwenden kann, sondern daß die Normen sich u. U. widersprechen. Soweit derartige Widersprüchlichkeiten auftreten, und ihre Zahl ist erstaunlich groß, kommt es darauf an, welcher der verschiedenen Normen der Vorrang gebührt. Hier, gerade bei dem Konkurrenzproblemen, erzeugt die große Zahl der Rechtsnormen eher eine Rechtsunsicherheit als eine Rechtssicherheit.

Diese Einsichten führen zur Skepsis gegenüber dem Ideal der umfassenden und möglichst ins einzelne gehenden Regelung durch die technischen Normen. Jedenfalls müssen wir gegensteuern. Abhilfe kommt von der Generalklausel, die genau das

Gegenbild unserer ins einzelne gehenden Norm ist. Am bekanntesten ist die Generalklausel des allgemeinen Ordnungs- und Sicherheitsrechts, die auch für das Recht der Technik gilt. Der Musterentwurf eines einheitlichen Polizeigesetzes des Bundes und der Länder, formuliert das schlicht so:

„Die Polizei hat die Aufgabe, Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung abzuwehren.“

Dies ist eine so weite Formulierung, daß sie unseren rechtsstaatlichen Bedürfnissen nicht genügt. Und zur Beruhigung sei angefügt, daß in der Tat der Musterentwurf sowie die heute geltenden Polizeigesetze der Länder sich mit einer so weiten Generalklausel nicht begnügen, sondern diese Generalklausel in vielfacher Weise eingeengt haben. Es gibt nun gerade im Recht der Technik auch noch eine Reihe von weiteren, mehr spezialisierten Generalklauseln, wie etwa im § 6 des Straßenverkehrsgesetzes, wonach der Bundesminister für Verkehr Rechtsverordnungen und allgemeine Verwaltungsvorschriften über die zur Erhaltung der Ordnung und Sicherheit auf den öffentlichen Wegen oder Plätzen oder zur Verhütung von Belästigungen erforderlichen Maßnahmen über den Straßenverkehr erläßt. Eine weitere Generalklausel, die einen noch engeren Inhalt hat und schon relativ konkret wird, ist im § 45 der Straßenverkehrsordnung enthalten, wonach die Straßenverkehrsbehörden die Benutzung bestimmter Straßen oder Straßenstrecken aus Gründen der Sicherheit oder Ordnung des Verkehrs beschränken oder verbieten und den Verkehr umleiten können. Andere Beispiele enthalten etwa die Bauordnungen. Ich zitiere § 1 der Niedersächsischen Bauordnung, der folgendes sagt:

„Bauliche Anlagen müssen so angeordnet, beschaffen und für ihre Benutzung geeignet sein, daß die öffentliche Sicherheit oder Ordnung nicht gefährdet wird. Besonders dürfen Leben und Gesundheit nicht bedroht werden. Unzumutbare Belästigungen oder unzumutbare Verkehrsbehinderungen dürfen nicht entstehen.“

Daß derartige Generalklauseln gegenüber den Vorschriften, die jede Einzelheit genau vorschreiben, wie etwa die Bauvorschriften über Standfestigkeit, Dachneigung, Beschaffenheit von Baustoffen usw., wenig eindeutig sind, ist offenbar. Generalklauseln sind Einfallstore der Rechtsunsicherheit und damit der Streitigkeiten. Daher führt der Gebrauch von derartigen Generalklauseln sehr schnell dazu, daß sie durch Verwaltungsvorschriften ausgefüllt werden. Sie geben der Verwaltung damit die Definitionsmacht über den Inhalt der Vorschriften. Sie verlagern gewissermaßen die Zuständigkeit vom Ordnungsgeber auf die Verwaltung. Während die Rechtsverordnung nach bestimmten generellen Vorschriften verkündet sein muß und damit der Zugriff des Bürgers auf das, was geltendes Recht ist, möglich bleibt, gilt das für die Verwaltungsvorschriften nur bedingt. Sie sind sog. Innenrecht und gelten nur im Verhältnis der vorgesetzten zur nachgeordneten Behörde. Zwar nimmt die Rechtswissenschaft und Rechtsprechung an, daß bei dauernder Benutzung bestimmter interner Verwaltungsvorschriften so etwas wie eine Selbstbindung der Verwaltung eintritt, auf die sich der Bür-

ger auch zu seinen Gunsten berufen kann. Aber der Nachweis dieser ständigen Übung, die zur Selbstbindung führt, ist doch recht schwierig. Vor allem aber ist der Richter, der im Streitfall zu urteilen hat, nicht an die Verwaltungsvorschriften gebunden, sondern frei. Dadurch bleibt allemal unsicher, was in einem Streitfall herauskommt, was wiederum dazu führt, daß der Bürger im Interesse der frühzeitigen Klärung darauf verzichtet, die Frage der richtigen Anwendung der Generalklausel durch Verwaltungsvorschriften dem Richter vorzulegen, sondern sich auf das einläßt, was die Verwaltung ihm vorgibt.

Die Generalklauseln haben also ganz offensichtlich gewisse Nachteile, weshalb sie auch unbeliebt sind und vom Juristen möglichst vermieden werden. Der Jurist hat auch noch andere Mittel zur Verfügung, um der Rigidität des technischen Rechts zu entgehen, ohne auf Generalklauseln zurückgreifen zu müssen. Eines dieser Mittel sind die „Soll-Vorschriften“.

Der Jurist unterscheidet drei Arten von Normen, die Muß-Vorschriften, die Soll-Vorschriften und Kann-Vorschriften. Während die Muß-Vorschriften absolut zwingend sind und bei den Kann-Vorschriften der Verwaltung ein Ermessensspielraum eingeräumt ist, stehen die Sollvorschriften auf der Mitte zwischen beiden. An sich sind auch die Soll-Vorschriften ebenso zwingend wie die Muß-Vorschriften. Es ist jedoch bekannt, daß der Gesetzgeber – ebenso der Verordnungsgeber bei seinen Rechtssetzungsakten – von einem bestimmten Leitbild auszugehen pflegt, auf das er mit seiner Vorschrift reagiert. Liegt nun dieses Leitbild im konkreten Falle nicht vor, ist aber andererseits der Wortlaut der Norm so gefaßt, daß sie an sich anzuwenden ist, so darf der Rechtsanwender von der Norm abweichen, wenn er sonst das Ziel der Norm verfehlen würde.

Dies ist in manchen Fällen eine wichtige Hilfe. Allerdings führt das, wie leicht einzusehen ist, in manchen Fällen auch zum Streit, wo denn eigentlich die Grenze der Freiheit des Normanwenders beginnt und inwieweit die Soll-Vorschrift wie eine Muß-Vorschrift wirkt.

Es ist daher doch wohl so, daß die Soll-Vorschriften keinen allzugroßen praktischen Anwendungsraum haben, daß der Normgeber sich entscheiden muß, ob er die Spezialregelung oder eine Generalklausel benutzen will. Aber auch hier gibt es noch einen Ausweg. Dieser Ausweg besteht darin, daß man die Spezialregelung mit der Generalklausel kombiniert. Das kann etwa so geschehen, daß eine Generalklausel formuliert wird und dann durch einige „Insbesondere-Regelungen“ geklärt wird, in welchen Fällen die Generalklausel anzuwenden ist.

Durch derartige Insbesondere-Regelungen kann man die Masse der auftretenden Fälle erfassen und damit dem Bürger genau sagen, was mit der Generalklausel gemeint ist. Allerdings ist dieser Weg, so nützlich er in vielen Fällen ist, doch oft nicht mehr wert, als die Generalklausel, weil die einzelnen „Insbesondere-Fälle“ ohnehin die bekannteren und selbstverständlicheren Fälle umfassen, während die strittigen und unklaren Fälle nicht durch eine Insbesondere-Regelung geklärt zu werden pflegen.

Eine weitere recht nützliche Technik ist es, daß der Gesetz- oder Verordnungsgeber eine detaillierte Regelung gibt und dann in einem weiteren Paragraphen noch eine

Generalklausel, die gewissermaßen als Auffangvorschrift dazu dient, alle jene Fälle zu erfassen, die in den Spezialbestimmungen noch nicht enthalten sind, sei es, daß der Gesetzgeber Probleme noch nicht kannte, sei es, daß er Probleme übersehen hat. Wahrscheinlich ist diese Kombination von Spezialvorschriften und Generalklauseln das optimale Mittel, um die Probleme zu erfassen und zugleich die nötige Rechtssicherheit zu schaffen.

Ist damit die Generalklausel trotz aller Bedenken, die gegen sie bestehen mögen, ein Mittel, das in der Lage ist, gegenüber den Schwierigkeiten, die von den Spezialregelungen ausgehen, Hilfe zu schaffen, so stellt sich die Frage, wie denn die Generalklauseln aussehen sollen.

Ich habe Ihnen bereits einige Beispiele genannt. Ich möchte einige weitere zitieren, um sie alsdann diskutieren zu können. Als Beispiele nenne ich:

- „Anerkannte Regeln der Technik“,
- „Stand der Technik“,
- „Stand von Wissenschaft und Technik“,
- „Schutz der Beschäftigten und Dritter vor Gefahren“,
- „soweit dies zum Schutze der Allgemeinheit oder der Auftraggeber erforderlich ist“,
- „schädliche Umweltauswirkungen“,
- „erhebliche Nachteile, Gefahren oder Belästigungen für die Allgemeinheit“.

Derartige Generalklauseln verweisen in der Regel auf andere Systeme. Sie fordern die Klärung der Frage, was denn z.B. die Regeln der Technik sind und welches der Stand der Wissenschaft ist.

Derartige Systeme, wie die Regeln der Technik oder der Stand von Wissenschaft und Technik, stehen keineswegs von vornherein fest, sondern bedürfen jeweils der Ermittlung des Inhalts. Dabei geht es in aller Regel darum, daß technische Termini und technische Normen benutzt werden, die mathematisch-naturwissenschaftliche oder ingenieurwissenschaftliche Kenntnisse voraussetzen, die beim Juristen nicht vorhanden zu sein pflegen. Der Rückgriff auf derartige Systeme erfolgt in unterschiedlicher Weise. Die Überwachungsbehörde bedient sich in aller Regel der Ingenieure, die sie selbst beschäftigt. Das Gericht dagegen, das aus Juristen besteht, muß Sachverständige beschäftigen, die vom Gericht bestellt werden. Dabei ist es vielfach so, daß der Sachverständige zum Richter wird. Der Richter ist zwar berechtigt, das Gutachten des Sachverständigen zu verwerfen. Welcher Richter aber kann es wagen, ein Gutachten, das in sich schlüssig ist und das im übrigen verständig die aufgeworfene Gutachtenfrage beantwortet, zu verwerfen? Die entscheidende Frage ist daher oft die, wer zum Sachverständigen bestellt wird. Und hier haben wir sonderbarerweise nicht den gesetzlichen Sachverständigen, so wie wir den gesetzlichen Richter haben, sondern das freie Auswahlrecht des Gerichts. Dieses Auswahlrechts des Gerichts wird seinerseits beschränkt durch die Tatsache, daß der Richter im allgemeinen keine hinreichenden Personalkenntnisse hat, wer denn wohl für eine bestimmte Spezialfrage der geeignetste und wirklich unabhängige Sachverständige ist. So muß der Richter sich zunächst an be-

stimmte Organisationen wenden und sich bei ihnen Rat holen, wer wohl als Sachverständiger in Frage kommt. Das gibt diesen Organisationen eine ganz erhebliche Macht in die Hand. Selbst wenn sie in der Form einer öffentlich-rechtlichen Kammer organisiert sind, garantiert dies keineswegs die hinreichende Neutralität, weil auch die Kammern Verbände von Mitgliedern bestimmter Berufsstände mit ihren spezifischen Interessen sind.

Wenn nun der Sachverständige, sei es der Sachverständige in der Behörde, sei es der von Gericht oder Behörde herangezogene freie Sachverständige, sein Gutachten abgibt, was denn die anerkannten Regeln der Technik oder der Stand von Wissenschaft und Technik sind, so stellt sich die Frage, ob es so etwas überhaupt gibt. Denn die Anerkennung oder der Stand, auf die es die zitierten Generalklauseln abstellen, setzen ja irgendeine Instanz voraus, die festlegt, was anerkannt und was nicht anerkannt ist.

Gegenüber solchen Bedenken kann nun freilich eingewandt werden, daß sich das alles in der Praxis eingespielt habe. Aber wer etwas genauer hinter die Kulissen sieht, weiß alsbald, daß es hierbei vielfach um Einflußrechte von Organisationen geht, die bestimmte Standards von Regeln definieren, Organisationen, die außerhalb der staatlichen Verfassung stehen und damit in einem demokratischen Staat nur eine schwache Legitimation besitzen. Aber man wird gegenüber allzu großen Skrupeln, die zuweilen geltend gemacht werden, einräumen müssen, daß es wahrscheinlich gar nicht anders geht. All unsere Normierungssysteme sind auf dieser Erde erdacht und werden auf dieser Erde angewandt. Die Mangelhaftigkeit der Menschen, die mit ihnen umgehen, ist daher ein Stück dieser Systeme selbst.

Ich möchte mich noch mit einem anderen Typus von Generalklauseln befassen. Das sind diejenigen Generalklauseln, die es auf die Erforderlichkeit der Abwehr bestimmter Gefahren abstellen. Hier stellt sich die Frage, was denn eigentlich „erforderlich“ ist. Heißt Erforderlichkeit, daß die Gefahren total zu vermeiden sind? Vielfach bedeutet das, daß dann bestimmte technische Systeme überhaupt nicht mehr benutzt werden dürfen. Für das Straßenverkehrsrecht als besonders wichtiges System unseres technischen Rechts ist ganz offenbar dann, wenn vorgeschrieben wird, daß die erforderlichen Maßnahmen zu treffen sind, um Gefahren für die Sicherheit und Ordnung im Straßenverkehr zu vermeiden, nicht eine totale Vermeidung von Schäden vorausgesetzt. Sonst würden wir nicht jährlich die Auslöschung eines Teiles der deutschen Bevölkerung in der Größe einer Kleinstadt hinnehmen, ohne ernsthaft daran zu denken, das Kraftfahrzeug als Auslöser dieser Gefahren zu verbieten. Offenbar wird das, was erforderlich ist, von technischem System zu technischem System sehr unterschiedlich definiert. Denn es wäre wohl kaum vorstellbar, daß heute noch ein Atomkraftwerk eingeschaltet wäre, wenn von den Atomkraftwerken eine gleichgroße Zahl von Toten ausginge, wie sie von den Kraftfahrzeugen ausgeht. Die Vorstellungen, was erforderlich ist, kann sich auch ändern. Während früher im Bergwerksbetrieb, insb. in Kohlenbergbaugruben, Unglücke vorkamen, die mehrere Hunderte von Toten forderten und das hingenommen wurde, ohne die Bergwerke zu schließen, so würde man heute wahrscheinlich derartige Gefahrenmomente nicht mehr hinzunehmen bereit sein. Das, was erforderlich ist an Sicherheitsvorrichtungen, hat sich hier glücklicherweise geändert.

Es geht daher um die Frage, welcher Sicherheitsstandard gefordert wird, wenn das Gesetz oder die Verordnung sagt, daß die für die öffentliche Sicherheit erforderlichen Maßnahmen zu treffen sind. Gerade diese zentrale Frage, was erforderlich ist, bleibt in derartigen Generalklauseln offen. Es ist eine Bewertungsnorm, wobei die Bewertung vom Gesetzgeber auf die Rechtsanwendung verschoben worden ist. Der Gesetzgeber hat sich – und das ist weitgehend die Funktion der Generalklausel – nicht in der Lage gesehen, den Sachverhalt voll durchzunormieren. Das führt zu einer Flexibilität, die nicht nur Rechtsunsicherheit schafft, sondern auch die Möglichkeit bietet, ohne ein neues Normierungsverfahren sachgerechte Entscheidungen im Einzelfall zu treffen.

Generalklauseln haben noch ein weiteres Problem. Vielfach haben wir es mit neuen technischen Einrichtungen oder technischen Entwicklungen zu tun, die wir noch nicht kennen und deren Wirkungsweise wir aus dem Versuch, aus der theoretischen Berechnung oder einer Simulation nur bedingt erfahren können. Gerade das Beispiel des Kernkraftwerks zeigt dies. Auch hier stellt sich die Frage, was als Sicherheitsstandard erforderlich ist und wer das voraussehen kann. Das Gesetz verlangt insb. bei der Kernkrafttechnik eine Orientierung am Stand der Wissenschaft. Zwar wird auch der Stand der Technik genannt. Allerdings ist es sehr zweifelhaft, ob der Verweisung auf den Stand der Technik in derartigen Fällen überhaupt eine Bedeutung zukommt, weil es oft eine Technik noch nicht gibt, jedenfalls bestimmte technische Systeme oder technische Teilsysteme bisher noch nicht verwirklicht worden sind. Dann stellt sich die Frage: Was weiß die Wissenschaft? In diesem Kreise brauche ich nicht darauf hinzuweisen, daß eigentlich immer vieles in der Wissenschaft streitig ist. Wissenschaftliche Ergebnisse werden gerade im Hinblick auf technische Entwicklungen vorangetrieben. Die Entwicklung der Wissenschaft hängt dann auf engste mit einem bestimmten technischen Großprojekt zusammen, weil wissenschaftliche Ergebnisse außer bei der Entwicklung dieses Großprojekts noch nicht bestehen. Sicherlich sind das Einzelfälle, aber es sind gerade die wesentlichen Einzelfälle, die Aufsehen erregen und mit denen der Jurist dann nicht zurecht kommt.

Und dann gibt es noch die Frage der Weiterentwicklung der Wissenschaft während eines bestimmten Verfahrens. Nehmen wir wieder das Beispiel der Kernkraftwerke. Die Dauer eines Genehmigungsverfahrens mit anschließendem Gerichtsverfahren durch zwei Instanzen ist so lang, daß der Stand der Wissenschaft sich während dieses Verfahrens in einzelnen Punkten einschneidend ändern kann. Entsprach das Projekt bei Einreichung des Plans zur Genehmigung noch dem Stand der Wissenschaft, so ist das bei der Prüfung durch das Gericht zweiter Instanz oft nicht mehr möglich. Damit werden bestimmte Arten von technischen Großprojekten für die Wirtschaft unkalkulierbar. Aber gibt es eine Möglichkeit, die Dinge anders zu sehen? Soll man sich dann, wenn nach sieben Jahren endlich das Bundesverwaltungsgericht seinen Spruch fällt, auf den Stand der Wissenschaft vor sieben Jahren zurückziehen dürfen, wenn man weiß, daß die Sicherheitstechnik bei einem Kernkraftwerk inzwischen wesentlich weiter entwickelt worden ist und die Möglichkeit bestünde, das Risiko durch Anwendung der weiter entwickelten Technik zu verringern? Es ist daher mißlich, den Stand der Wissenschaft zum Norminhalt zu nehmen. Aber eine Alternative hierzu steht nicht zur Ver-

fügung. Die moderne Großtechnik mit allen ihren Risiken hat eine Entwicklung erreicht, die wir mit unserem herkömmlichen Normierungssystem nicht mehr voll im Griff haben. Hier zeigt sich das Zusammenspiel von Recht und Technik und die Abhängigkeit des Rechts von der Technik sowie der Technik vom Recht, die Schwierigkeit diese Zusammenhänge durch eine geeignete Rechtstechnik zu bewältigen.

Es war schon darauf hingewiesen worden, daß die staatliche Verwaltung kaum in der Lage ist, die Probleme, die bei der Setzung des Rechts der Technik entstehen, selbst zu bewältigen. Die staatliche Verwaltung bedarf zunehmend mehr des Spezialisten aus der Wirtschaft. Daneben freilich steht auch die Abwälzung der Rechtssetzung auf andere Körperschaften, insb. auf solche der Selbstverwaltung. Hierbei stehen die Berufsgenossenschaften im Vordergrund, weil ihnen die gesetzliche Aufgabe zufällt, mit den Unfallverhütungsvorschriften eine große Zahl von technischen Normen zu erlassen. In der Praxis haben daher die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft eine große Bedeutung erlangt und werden weitgehend auch im staatlichen Bereich angewandt. Hier stößt der Jurist allerdings schon wieder auf ein Problem. Die Berufsgenossenschaften sind Personalkörperschaften und haben eine Verbandsgewalt nur gegenüber ihren Verbandsmitgliedern, d.h. gegenüber den Unternehmern und Versicherten der ihnen angehörenden Unternehmern. Dritte werden nicht durch derartige Vorschriften gebunden, es sei denn, es erfolgt eine ausdrückliche Erweiterung. Inwieweit diese Erweiterung möglich ist, hängt davon ab, daß der Staat als Souverän entsprechende Vorschriften erläßt, die die Erweiterung der verbandlichen Normen vorsehen. Dies geschieht in der Regel durch eine Verweisung auf die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften. Die Zentralfrage für den Juristen ist dabei die, auf was denn eigentlich verwiesen wird. Solange die Verweisung auf Normen erfolgt, die bereits verkündet worden sind, sind die Probleme überwindbar. Hier kann in dem staatlichen Verkündungsorgan Bezug genommen werden auf die verbandlichen Normen, wobei Bezeichnung, Erlassdatum und Fundstelle genau genannt werden.

Anders ist die Frage u.U. zu beurteilen, wenn nicht auf eine schon erlassene Norm verwiesen wird, sondern auf bestimmte Normen „in ihrer jeweils geltenden Fassung“. Diese sogenannte dynamische Verweisung bedeutet, daß im Augenblick der Verweisung noch nicht feststeht, wie denn eigentlich die Norm aussehen wird, die später einmal Geltung auch bei Nichtmitgliedern der Körperschaft haben soll. Die zuständigen Körperschaftsorgane sind befugt, für ihre Mitglieder die Norm abzuändern und damit zugleich auch für jeden Dritten, der nicht zum Verband gehört. Mit der Bezugnahme in der staatlichen, d.h. für jedermann geltenden Norm auf die verbandliche Norm „in ihrer jeweils geltenden Fassung“ wird damit dem Verbands Vollmacht gegeben, beliebig die Rechtsverhältnisse zwischen dem Verband und Dritten, ja zwischen dem Staat und Dritten zu regeln. Dies ist ein Phänomen, das den Juristen beunruhigt, aber doch wohl hingenommen werden kann, weil es praktisch bedeutet, daß der Staat kraft seiner staatlichen Vollmacht die Verbandsgewalt erweitert. Es liegt im Grunde nicht viel anders, als wenn durch die Gewerbeordnung eine Bauartzulassung für Spielgeräte verlangt wird, die praktisch auf Regeln verweist, die von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt entwickelt worden sind.

Prekär wird für den Juristen allerdings die Frage, wenn in einer staatlichen Norm auf Regeln verwiesen wird, die von rein privaten Organisationen entwickelt worden sind, etwa Regeln der DIN-Ausschüsse, des VDE, des VDI oder anderer. Derartige Regeln, derer es sehr viele gibt, sind ohne staatliche Hilfe entstanden. Die Verbände leben nach ihrem Verbandsrecht, d.h. nach privatem Vereinsrecht. Sie haben die Vereinigungsfreiheit, die auch die negative Vereinigungsfreiheit einschließt, d.h. das Recht dem Verbands fernzubleiben, und das Recht des Verbandes, bestimmte Personen von der Mitgliedschaft auszuschließen.

Unter Umständen gibt es in bestimmten Bereichen auch konkurrierende Verbände. Selbst dort, wo es keine konkurrierenden Verbände, sondern nur einen Monopolverband gibt, kann es so sein, daß ein konkurrierender Verband sich nicht entwickeln kann, weil der Monopolverband eine soziale Macht entfaltet, die geschützt wird durch finanzkräftige Wirtschaftszweige, die hinter dem Verband stehen.

Die Normierungen derartiger Verbände sind in der Regel wohltätig. Sie schaffen bei dem Betroffenen Rechtssicherheit und gegenüber denen, die durch technische Einrichtungen gefährdet sind, tatsächliche Sicherheit. Oft wird man auch sagen dürfen, daß derartige Verbände es besser machen als der Staat und daß es gut ist, wenn der Staat sich heraushält und die Entscheidungen der Wirtschaft überläßt.

Dies alles ist anerkannt. Freilich kann sich der Jurist nicht damit begnügen, daß etwas zweckmäßig ist. Regelungen, die Geltung beanspruchen, müssen auch juristisch einwandfrei sein. Wenn es später um die Frage geht, ob im Falle eines Unfalls oder Schadens eine Haftung eintritt, u.U. sogar die Staatsanwaltschaft tätig wird, so muß mit Sicherheit geklärt werden, ob die Regeln, die in der privaten Wirtschaft ohne Hilfe des Staates entwickelt sind, für jedermann normierende, d.h. bindende Bedeutung besitzen. Will der Staat durch seine Behörden oder Gerichte derartige Regeln verbindlich machen, so bedarf es einer irgendwie gearteten Transformation in staatlichen Normen.

In gewisser Weise liegt das Problem ähnlich wie bei den Normen, die von Selbstverwaltungsträgern aufgestellt werden. Allerdings liegt der Unterschied gegenüber diesen darin, daß die Normierungsinstanzen überhaupt nicht zu den Trägern öffentlicher, d.h. staatlich legitimerter Gewalt, gehören. Freilich hat dieses Problem dem Juristen niemals entscheidene Schwierigkeiten bereitet. Die Rechtswissenschaft hat die Figur des sog. Beleihenen entwickelt, d.h. einer Person, mag sie natürliche oder juristische Person sein, die kraft eines besonderen Beleihungsaktes Funktionen des Staates wahrnimmt. Gerade aus dem Recht der Technik sind derartige Rechtsfiguren wohl bekannt, die wichtigsten sind die Technischen Überwachungsvereine, die kraft besonderer Beleihung staatliche Gewalt ausüben.

Diese Träger staatlicher Gewalt unterliegen aber genau denselben Regeln wie die Träger ursprünglicher staatlicher Gewalt. Das gilt vor allem für ihre Normsetzungen. Diese müssen in den amtlichen Verkündigungsblättern in derselben Form verkündet werden, wie es die staatlichen Behörden tun. Daran aber fehlt es ja gerade bei den Normen, die von den nichtstaatlichen Normsetzungsorganen erlassen werden. Es sollen ja nach dem Willen dieser Normsetzungsorgane private, verbandliche, gesellschaftliche Normen bleiben und nicht staatliche Normen werden.

Unabhängig davon taucht hier das Problem auf, daß die Normsetzung aus einer kurzen Verweisung auf anderswo verkündeten Normen besteht, die von anderen nicht-staatlichen Instanzen erlassen worden sind. Noch problematischer wird es, wenn man sich einer modernen und sehr praktischen Verkündungsform bedient, nämlich des Loseblattwerks. Im Loseblattwerk können die allfälligen Änderungen der technischen Vorschriften sehr schnell durch neue ersetzt werden, so daß der Benutzer immer den aktuellen Stand vor sich hat. Derartige Loseblattsammlungen, so praktisch sie sind, sind freilich als Verkündungsorgane für staatliche Normen unbrauchbar. Für den Nachweis, ob irgendwann und irgendwie eine bestimmte Norm gegolten hat oder gilt, bedarf es der Verkündung in Blättern, die datiert und paginiert sind, die man in Jahrgängen binden kann und die mit Registern versehen sind, aus denen sich insb. auch der Nachweis der Vollständigkeit des Blattes ergibt.

Daher besteht immer wieder die Neigung einer Verweisung auf die Norm in ihrer jeweils geltenden Fassung. Es muß aber mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß dies Verfahren, das schon für die Normen der Körperschaften des öffentlichen Rechts zweifelhaft ist, bei den Normen privater Verbände völlig unzureichend ist, daß dies Verfahren rechtsstaatlich unzulässig ist. Dabei geht es sowohl um das Problem der rechtsstaatlichen Sicherung dessen, was eigentlich wirklich als Norm anzusehen ist, als auch um das Problem der Demokratie, daß nämlich eine korrekte Ableitung der Rechtsetzung vom Parlament zu einem unteren Organ eine Ermächtigungskette besteht, die vollständig und unzweifelhaft legitimiert ist.

Ist es nicht möglich, derartige Normen in den staatlichen Bereich bzw. den staatlichen Normenapparat aufzunehmen, so müssen sie halt private Normen bleiben. Auch hier entfalten sie ihren Nutzen. Eine private Norm kann sich kraft ihrer inneren Autorität eine Anerkennung auch im staatlichen Bereich verschaffen. Die Tatsache, daß diese Normen überall, wenn auch ohne staatlichen Befehl angewandt werden, ist oft genug ein Hinweis auf ihre Qualität, und führt dazu, daß die staatliche Behörde diese Normen als Verwaltungsvorschriften anwendet, um die ihr im Rahmen einer Generalklausel gegebene Ermächtigung auszufüllen. Die Gerichte sind dann oft noch bereit, dem Gedanken zu folgen, daß die private Norm die sachgerechte Entscheidung enthält und damit anzuerkennen, daß die Behörde ermessensrichtig gehandelt hat, wenn sie sich auf die private Norm stützt.

Tritt später ein Schaden oder ein Unfall ein, so wird man bei der Frage, ob jemanden ein Verschulden trifft, auch darauf abstellen dürfen, ob die private Norm angewandt worden ist. Handelt es sich um eine qualitativ gute Norm, so wird man von jedermann, der mit derartigen Fragen befaßt ist, erwarten können, daß er diese Normen bei seinem eigenen Verhalten berücksichtigt. Tut er das nicht, so impliziert die Nichtbeachtung derartiger Normen ein fahrlässiges Verhalten, das zu einer Haftung führen kann.

Eine derartige Auffassung von Wesen und Bedeutung der privaten Norm hat zweifellos ihre Vorteile. Der starre und komplizierte staatliche Apparat braucht nicht in Gang gesetzt zu werden. Das Interesse der Wirtschaft an geeigneten Normen wird angerufen und führt dazu, daß die Wirtschaft sich die Normen selbst geben darf, ohne daß der Staat eingreift. Dabei ist noch nicht gesichert, daß der Staat diese Normen aner-

kennt. Das hängt vielmehr von der Qualität der Normen ab. So ist die Wirtschaft mit der Möglichkeit, durch zunächst innerverbandliche Normen auf das Geschehen im Bereiche der Technik einzuwirken, in die Lage versetzt, im Wettbewerb mit dem Staat normierend aufzutreten. Denn, wenn die Wirtschaft kein geeignetes Normgefüge für eine Sachfrage zur Verfügung stellt, ist der Staat gefordert, das seinerseits zu tun.

Ich möchte hier abbrechen. Ich habe mein Thema nicht erschöpft. Das ist angesichts der Fülle des Stoffes und der zahllosen Fragen, Normen, Gerichtsentscheidungen und literarischen Stellungnahmen zu unserem Thema auch nicht möglich. Wer sich mit dem Recht der Technik befaßt, stößt alsbald an vielen Stellen auf Grundfragen des Rechts und der Rechtswissenschaft. Die Technik hat daher für den Juristen keineswegs nur eine technische Bedeutung wie überhaupt technische Fragen, d.h. Fragen der Technik des Rechts in erster Linie Rechtsfragen sind und daher am Rechtswert der Rechtsnorm teilnehmen. Technische Fragen sind immer irgendwie auch inhaltliche Fragen. Ebenso wie der Ingenieur bei seiner technischen Arbeit darauf bedacht ist, zu optimalen Lösungen zu kommen, so auch der Jurist. Rechtstechnik ist daher in gewisser Weise eine Methode der Optimierung des Rechts im Hinblick auf seine Anwendbarkeit, d.h. seine praktische Nützlichkeit. Der juristische Laie leidet oft genug an der mangelhaften Handhabbarkeit des Rechts, der Versäumung einer Suche nach der optimalen technischen Lösung für ein Rechtsproblem. Daß der Jurist hier nicht selten sündigt, ist bekannt. Wer seine Zunftgenossen bei der Arbeit aufmerksam beobachtet, dann dies schwer leugnen. Aber die Probleme der Rechtstechnik, unter denen Jurist und Nichtjurist in gleicher Weise leiden, sind andererseits dem Gegenstand selbst immanent. Ihre Schwierigkeiten fließen gerade beim Recht der Technik aus der Eigenart der Technik. Sie verlangen vom Juristen ein Eindringen in die Probleme der Technik, damit er seine eigenen technischen Probleme lösen kann.

Es war mein Ziel, Ihnen ein wenig über das Zusammenspiel von Recht und Technik – Technik in doppeltem Sinne der Bedeutung des Wortes – vorzutragen. Technisch ist das nicht immer einfach, hoffentlich habe ich es recht gemacht.

Literaturverzeichnis

- Blümel, Willi / Wagner, Hellmut (Hrsg.): Technische Risiken und Recht, 1981.
 Eberstein, Hans Herrmann: Einführung in die Grundsätze des sicherheitstechnischen Rechts, in: Schriftenreihe Recht & Technik, Band 10, 1987.
 Herschel, Wilhelm: Rechtsfragen der Technischen Überwachung, in: Schriftenreihe Recht und Technik, Band 1, 1972.
 Jarass, Hans D.: Umweltverträglichkeitsprüfung bei Industrievorhaben, 1987.
 Karpen, Ulrich: Die Verweisung als Mittel der Gesetzgebungstechnik, 1970.
 Koch, Hans-Joachim: Grenzen der Rechtsverbindlichkeit technischer Regeln im öffentlichen Baurecht, 1986.
 Lukes, Rudolf / Birkhofer, Adolf (Hrsg.): Rechtliche Ordnung der Technik als Aufgabe der Industriegesellschaft, 1980.
 Lukes, Rudolf: Sachverständigentätigkeit nach der Gashochdruckleitungsverordnung, in: Schriftenreihe Recht & Technik, Band 8, 1983.
 ders.: Grundprobleme zum atomrechtlichen Verwaltungsverfahren, 1974.

- Marburger, Peter: Die Regeln der Technik im Recht, 1979.
- ders.: Atomrechtliche Schadensvorsorge, Möglichkeiten und Grenzen einer normativen Konkretisierung, 1983.
- Plagemann, Herrmann: „Stand der Wissenschaft“ und „Stand der Technik“ als unbestimmte Rechtsbegriffe, 1980.
- Plischka, Hans Peter: Technisches Sicherheitsrecht, 1969.
- Rittstieg, Andreas: Die Konkretisierung technischer Standards im Anlagenrecht, 1982.
- Roßnagel, Alexander (Hrsg.): Recht und Technik im Spannungsfeld der Kernenergiekontroverse, 1984.
- Schäfer, Karl-Wilhelm: Das Recht der Regeln der Technik, Diss. 1965.
- Schaible, Joachim: Die Rechtsnatur der Typengenehmigung unter besonderer Berücksichtigung der überwachungsbedürftigen Anlagen des § 24 der Gewerbeordnung, Diss. 1971.
- Schwierz, Matthias: Die Privatisierung des Staates am Beispiel der Verweisungen auf die Regelwerke privater Regelgeber im Technischen Sicherheitsrecht, 1986.
- Steiner, Udo: Staatliche Gefahrenvorsorge und Technische Überwachung, in: Schriftenreihe Recht & Technik, Band 9, 1984.
- Thieme, Werner: Das Prüfungsmonopol bei überwachungsbedürftigen gewerblichen Anlagen, 1987.
- Wolf, Rainer: Der Stand der Technik: Geschichte, Strukturelemente und Funktion der Verrechtlichung technischer Risiken am Beispiel des Immissionsschutzes, 1986.

13.11.1987 in Braunschweig

Die Schönbornkapelle am Würzburger Dom. Zu Aufbau und Genese der gruppierten (Wölbgestell-)Rotunden Balthasar Neumanns

(Kurzfassung)

Von **Harmen Thies**

Die Schönbornkapelle Balthasar Neumanns am Würzburger Dom (1719–24, Ausbau 1729–46) und die seit 1732 errichtete Hofkirche der Residenz müssen als Schlüsselbauten für das Verständnis seiner Architektur gelten. Das dort entwickelte und erstmals realisierte Architektursystem ist ebenso konstitutiv und charakteristisch für das Entwerfen B. Neumanns wie es – deswegen – als Ausgangs- und Vergleichsposition für sein gesamtes Œuvre im Bereich des Sakralbaus grundlegend bleibt.

Risse und realisierter Aufbau der Abteikirche in Neresheim (1747–92), eines der letzten großen Kirchenbauprojekte B. Neumanns, sind sehr gut geeignet, die Gültigkeit dieses in der Schönbornkapelle und der Hofkirche in Würzburg konzipierten und dann vollgültig realisierten Systems vor Augen zu stellen. Zu unterscheiden sind „Einheiten“, die zunächst als „Rotunden“ (Erich Hubala) zu fassen sind. Näher sind es kupplig eingewölbte, in ihrer Gestalt durch Wölbform und -aufbau wesentlich vorgeprägte Gliedeinheiten des architektonischen Gefüges, deren Besonderheit darin zu sehen ist, daß die Wölbschalen dieser Gebilde nicht unmittelbar auf den gegliederten Hüll- und Stützwänden der Raumkonfiguration lasten „müssen“, sondern – im Zentrum ist es realisiert – auf einem Unterbau hoher Postamentsäulenpaare und „Bogenarkaden“ (Günter Neumann) ruhen „können“, freigestellt gegenüber dem Wandkörper und dem Ganzen wie eingestellt. Diese über Freisäulen und „Bogenarkaden“ aufgeständerten Kuppel-Rotunden (Exempla für die Typologie neuzeitlicher Wölbgestelle) gehören zu den wenigen wichtigen Element-Figuren des Entwerfens Balthasar Neumanns. Erstes Beispiel ist seine Schönbornkapelle. Der Typus läßt sich bis in die römische Antike zurückverfolgen. Wichtigste neuzeitliche Beispiele sind: S. Bernardino bei Urbino von Francesco di Giorgio Martini, der Entwurf auf der Uffizienzeichnung Nr. 20 A, Wölbgestellentwürfe B. Peruzzis, Michelangelos Sforzaskapelle an S. Maria Maggiore (diese vor allem), der Eingangspavillon des Palais du Luxembourg von Salomon de Brosse, die „Superga“ des Filippo Juvarra in Turin, dann die Bauten und Entwürfe B. Neumanns.

Auffallend nun ist, daß diese Wölbgestell-Rotunden bei Neumann nicht nur als isolierte Sonderbildungen vorkommen, sondern – eher noch – als Hauptstücke meist dreigliedriger, komplex verschränkter Rotunden-Gruppen, im Sinne eines „Systems“ also. Die Schemaskizzen zu Neresheim stellen einige der von Neumann ganz offensichtlich intendierten (hier nicht näher beschriebenen) Gruppierungsmöglichkeiten vor Augen. Entsprechendes könnte für die Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen oder das

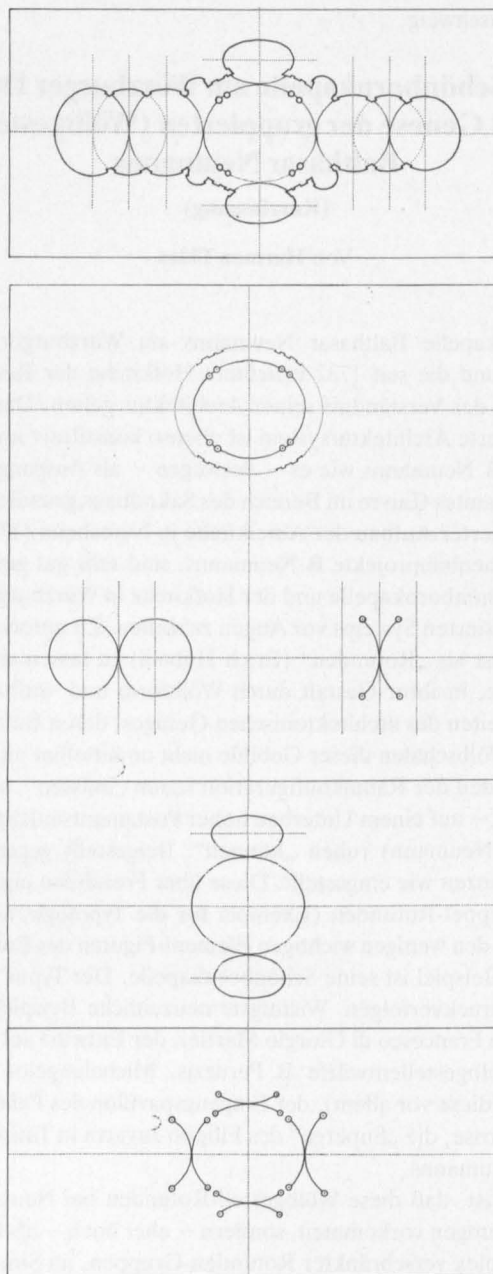
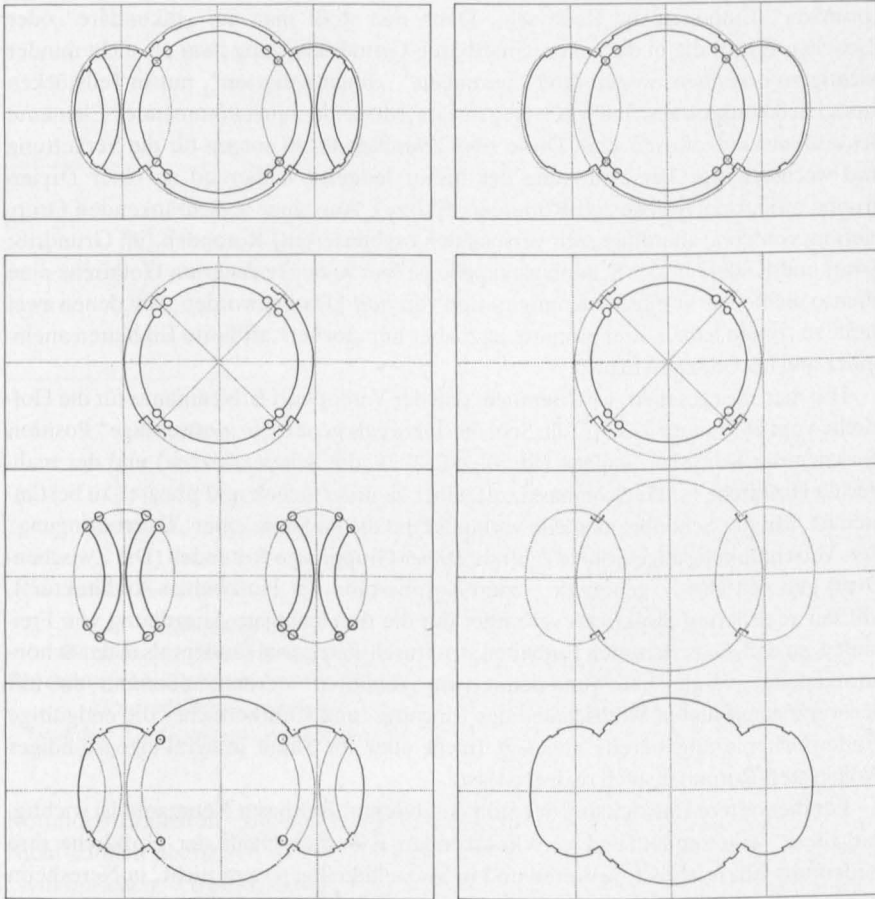


Abbildung 1:
Neresheim (SE 120)
Elemente der Grundriß-Konfiguration (Schemaskizzen)

Würzburger „Käppele“ (Vorentwurf) gezeigt werden. „Ambivalente“ Sowohl-als-auch-Relationen, das Zuordnen und Einfügen ein und desselben, stets konstitutiven Ketten-gliedes ebenso in diese wie gleichzeitig in jene Gruppen-Konfiguration und das rang-gemäße Aus-Teilen (Disponieren) der Aufbau- und Ordnungselemente gehören denn auch zu den Konstanten und Prinzipien neuzeitlicher, vor allem barocker Architektur, nicht zuletzt der Balthasar Neumanns.

Bisher hat sich die Forschung so gut wie ausschließlich mit der Artikulation und gruppierenden Verschränkung der großen, unmittelbar anschaulichen Rotunden-Ein-



*Abbildung 2:
Würzburg, Schönbornkapelle am Dom
(SE 44, unten), B. Neumann
Elemente der Grundriß-Konfiguration
(Schemaskizzen)*

*Abbildung 3:
Würzburg, Schönbornkapelle am Dom
(SE 27), B. Neumann
Elemente der Grundriß-Konfiguration
(Schemaskizzen)*

heiten befaßt und so z.B. die Konfiguration aus der zentralen, gegenüber dem Mantel rund sich isolierenden Freisäulen-Bogenarkaden-Rotunde und den flankierend eingebundenen Anraum-Ovati („fragmentierte“ Rotunden) der Schönbornkapelle im Sinne einer „Durchdringung“ oder „Verschneidung“ bestimmt, in der die Wölbgestell-Rotunde nicht allein die Mitte, sondern auch ihre – deswegen – dominante Form zu behaupten wußte (Schema-Skizze zu SE 27). Ganz anders erscheint die Gruppierung der drei, im Hinblick auf die Wölbformen entscheidenden Rotunden-Einheiten der dann realisierten Entwurfsüberarbeitung zur Hofkirche der Würzburger Residenz (Schema-Skizze zum Ausführungsgrundriß). Hier kann zunächst nur von einer Sequenz, Reihung oder Affiliation integraler (eben nicht „fragmentierter“) und also „primärer“ Einheiten die Rede sein. Dann erst stößt man auf „sekundäre“ oder Zwischen-Ovati, die in der rekonstruierbaren Grundrißbildung zwar als nicht minder wichtig zu erkennen, wegen ihrer „partiellen“, „fragmentierten“, nur in Teilstücken tatsächlich konkret-anschaulichen Gegenwart jedoch als „hinzukommende“ Elemente des Aufbaus aufzufassen sind. Diese zwei Zwischen-Ovati sorgen für die Verkettung und wechselseitige Verschränkung der bisher lediglich addierend zu einer Dreiergruppe affilierten Wölbgestell-Rotunden (Skizze). Aus einer verschränkenden Gruppierung von *drei* (allerdings sehr verschieden organisierten) Rotunden (im Grundriß: Ovati und Kreise) in der Schönbornkapelle ist hier in der realisierten Hofkirche eine ebenso dichte wie komplexe Konfiguration von *fünf* Ovati geworden, von denen zwei dafür zu sorgen haben, drei primäre, jetzt aber nur „locker“ affilierte Einheiten aneinander und ins Ganze zu fügen.

Hat man dies gesehen, wird deutlich, daß der Vorentwurf B. Neumanns für die Hofkirche vom 26. Januar 1732 (s. die Schemaskizze) als genetisch „notwendige“ Position zwischen der Schönbornkapelle (SE 44, SE 27, s. die Schemaskizzen) und der realisierten Hofkirche (s. die Schemaskizze) näher zu untersuchen und präziser zu bestimmen ist. Mit der Schönbornkapelle verbindet ihn die im Sinne einer „Durchdringung“ bzw. Verschränkung angeordnete zentrale *Dreier*-Gruppe von Rotunden (Die Zwischen-Ovati gehören also – genetisch – zum Kernbestand der Hofkirchen-Architektur!). Mit der realisierten Hofkirche verbindet ihn die durchgängige Anordnung von Freisäulen, so daß die verketteten Einheiten strukturell-kategorial (anders als in der Schönbornkapelle) „vergleichbar“ und damit dann „vereinbar“ werden; außerdem, daß mit den verzogen-schiefen Wölbschalen des Eingangs- und Chorbereiches die endgültige Fünfer-Gruppierung bereits angelegt (nicht aber im Sinne integral-eigenständiger Wölbgestell-Rotunden auch realisiert!) ist.

Für die weitere Entwicklung der Sakralarchitektur Balthasar Neumanns ist wichtig, daß diese verkettenden und verschränkenden Zwischen-Ovati der Hofkirche ihre Bedeutung offensichtlich verlieren und in Vierzehnheiligen etwa nicht, in Neresheim nur an nachgeordneter Stelle (Langhaus, Chor) zu finden sind. Das lenkt die Aufmerksamkeit auf eine architektonische „Einheit“, die als nicht minder konstitutiv und bedeutend für den Aufbau und die Genese einer Neumann-Architektur zu erkennen ist, die aber neben den raumhaltig-hüllenden, im Umkreis ihrer Aufbauelemente (Stützen, Bogenarkaden, Wölbung) „geschlossenen“, mit einem Wort: „positiven“

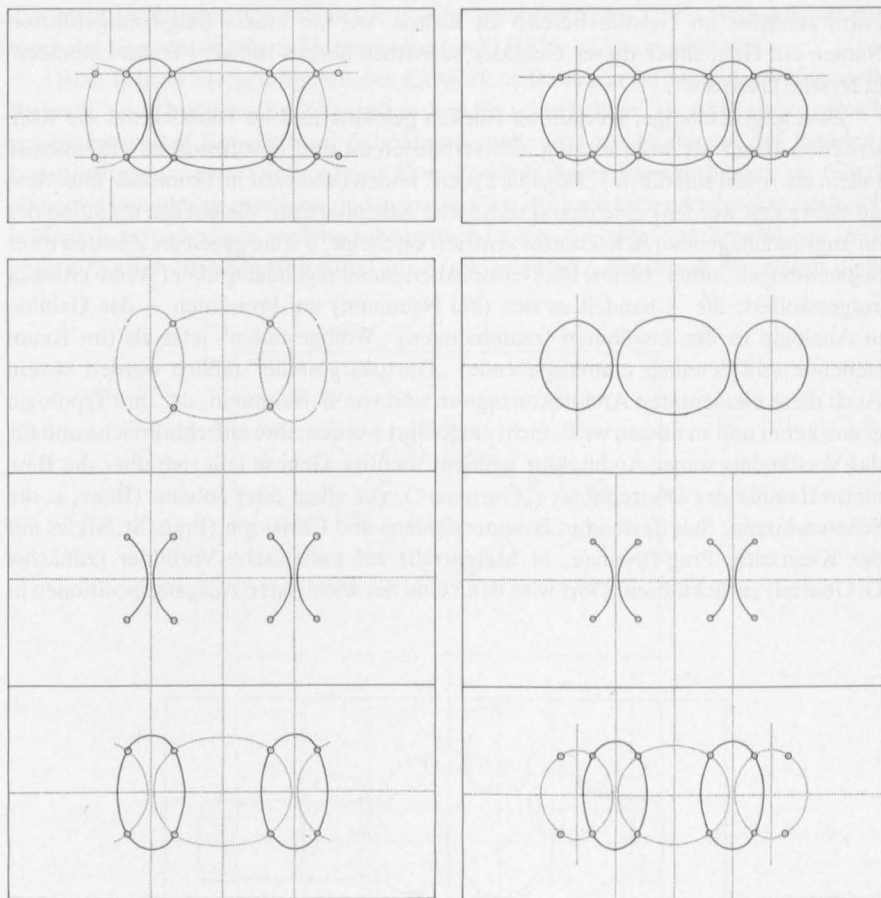


Abbildung 4:

Würzburg, Hofkirche der Residenz
(Vorentwurf vom 26. Januar 1732), B. Neumann
Elemente der rekonstruierten
Grundriß-Konfiguration (Schemaskizzen)

Abbildung 5:

Würzburg, Hofkirche der Residenz
(Ausführung), B. Neumann
Elemente der Grundriß-Konfiguration
(Schemaskizzen)

Rotunden-Einheiten „raum-negierend“ wirkt und somit regelmäßig „negativ“, als Nicht-Einheit übersehen wurde. Von Hiatus, Pause und – darauf aufbauend – einem „synkopischen“ Organisationsprinzip war demgemäß die Rede. Tatsächlich ist auch diese Einheit „positiv“ bestimmt, allerdings nicht, indem sie als „Raum“ zu fassen wäre, sondern allein aufgrund ihrer ebenso eindeutigen wie – für das Ganze – konstitutiven Präsenz als baulich realisierte Architekturfigur, die (ähnlich einer Wölbgestell-Rotunde) als ein integrales und ebenso eigenständiges wie strukturell stabiles Gebilde konkret-anschaulich zu fassen und zu beschreiben ist. Auch für sie ist die prägende

Form zunächst im Gewölbebereich zu suchen, wo mit einem längst eingeführten Namen ein Hauptstück dieses Gebildes begrifflich bereits isoliert ist: das „dientzenhofersche Gurtpaar“.

Zwei gegenständige, Rücken an Rücken gelehnte und im Hinblick auf die Konstruktion damit als wechselseitig sich stabilisierend und abstützend zu erkennende (allein also nicht standfeste) „Bogenarkaden“ bilden (und zwar im Grundriß, über dem sie entwickelt werden) eine charakteristische Klammerfigur, die ebenso im Sinne des ihr zugrundeliegenden Achskreuzes zentriert erscheint, wie sie gegen die Zentren ihrer Segmentbogen „offen“ bleibt. Dies Gurtpaar erscheint regelmäßig über (Wand-)Stützen aufgeständert, die – handelt es sich (bei Neumann) um Freisäulen – das Gebilde in Analogie zu den erwähnten (raumhaltigen) „Wölbgestellen“ jetzt als (im Raum stehende und dennoch raumnegierende) „Gurtpaargestelle“ faßlich werden lassen. Auch diese elementaren Architekturfiguren sind von B. Neumann, der ihre Typologie genau kennt und zu nutzen weiß, nicht eingeführt worden; ihre aufschlußreiche und für das Verständnis seiner Architektur eminent wichtige Genese läßt sich über die Baumeisterfamilie der Dietzenhofer („Gurtpaar“), vor allem über Johann (Banz, s. die Schemaskizzen; Sala Terrena in Pommersfelden) und Christoph (Prag, St. Niklas auf der Kleinseite; Prag-Breunau, St. Margareth) auf italienische Vorbilder (zunächst G. Guarini) zurückführen. Dort wird dann eine der wichtigsten Ausgangspositionen in

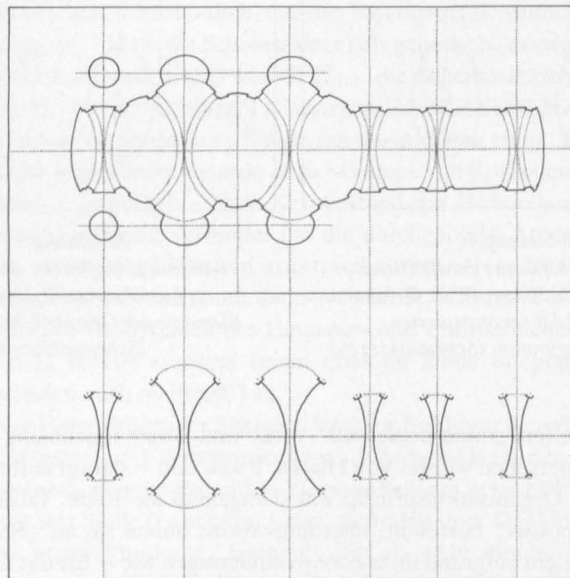


Abbildung 6:
Banz, Klosterkirche, Johann Dientzenhofer
Elemente der Grundriß-Konfiguration (Schemaskizzen)

den nicht realisierten Vorentwürfen (s. die Schemaskizzen) Carlo Rainaldi für die römische Konventskirche S. Maria in Campitelli (1956–65) zu suchen sein.

Diese beiden Elementfiguren des Entwerfens Balthasar Neumanns (Wölbgestell-Rotunde und Gurtpaar-Gestell) sind gerade für seine frühen, alles folgende zugleich prä-figurierenden Entwürfe zur Schönbornkapelle und zur Hofkirche der Residenz konstitutiv geworden. Die konkrete Kom-Position dieser Elementfiguren als Glied-einheiten komplex gegliederter und nur so zu Gestalt verdichteter Architektur läßt sich in Nach-Konstruktionen analytisch-begrifflich fassen und bildet auf diese Weise („Riß-analyse“) ein wertvolles Hilfsmittel zur Kritik geläufiger, den Anteil Neumanns dimi-

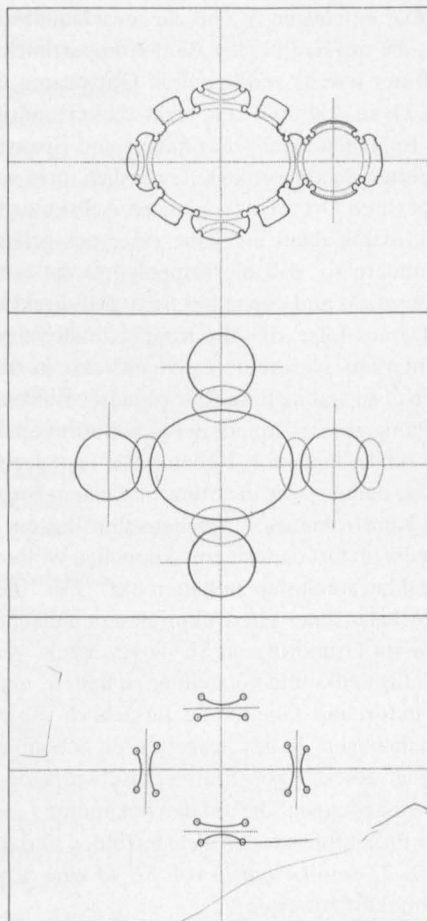


Abbildung 7:
Rom, S. Maria in Campitelli (Vorentwurf), Carlo Rainaldi
Elemente der Grundriß-Konfiguration (Schemaskizzen)

nuierender oder den Prozeß seines Entwerfens mißdeutender Thesen (z. B. W. J. Hofmanns oder Th. Korths). So macht der Vergleich der Schemaskizzen zu dem Grundriß auf SE 44 (Schönbornkapelle), zu SE 27 (Schönbornkapelle) und zu dem rekonstruierten Grundriß (Thies 1979) des Hofkirchenentwurfes B. Neumanns vom 26. Januar 1732 deutlich, daß nicht allein ein Verketteten („Durchdringen“) bzw. Affilieren von Rotundeneinheiten, sondern auch – *gleichzeitig* – eine Konfiguration aus Rotunden (nach Aufbau und Erscheinung als Mauermantel-Rotunden und Wölbgestell-Rotunden) und Gurtpaar-Gestellen (SE 44, Hofkirchenentwurf von 1732) zu beobachten ist, die unsere Vorstellung von der Eigenart und Genese des Entwerfens Balthasar Neumanns zu modifizieren und in Teilbereichen auch zu korrigieren fordert.

In diesem Zusammenhang ist auf eine Tatsache aufmerksam zu machen, die der Forschung bisher offenbar entgangen ist und die zur adäquaten Beurteilung der Probleme beitragen kann, die mit den beiden Blatt-Kompartimenten von SE 44 aufgeworfen sind (Grundriß mit jeweils verdoppelten Gurtpaaren über Wand- und Freistützen in den Anraum-Ovati / darüber eine nicht zum Grundriß „passende“ Schnitt-Aufriß-Kombination): Entgegen jeder Gewohnheit und Erwartung sind (außen) die Kuppelgurte der realisierten Schönbornkapelle nämlich nicht so angeordnet, daß die (blinden) Kuppelfenster ihren Ort im orthogonalen Achskreuz der Kapellenarchitektur finden könnten und damit dann im Sinne einer uns geläufigen Travée-Bildung gerahmt erschienen, sondern so, daß die Kuppelgurte die erwarteten Fenster- und Travée-Achsen selbst besetzen und verstellen, sich also direkt auf das grundlegende Achskreuz beziehen. Daraus folgt, daß die Kuppel zunächst gegenüber dem orthogonal organisierten Unterbau „verdreht“ erscheint; erst in der Laterne, die beide Momente in ihrem Aufbau zu vereinen weiß, wird dieser Eindruck „korrigiert“. Projiziert man diese Anordnung auf das Innere der Schönbornkapelle, so stellt man fest, daß zwei Kuppelgurte (auf der längeren „Nebenachse“) auf den Gewölbescheiteln der Anraum-Ovati fußen und damit – wie die Stütze auf einem Bogenscheitel und zumindest für das Auge eines Konstrukteurs – „unangenehm“ lasten: stellen sie doch punktuelle Scheitellasten an einem Ort dar, wo eine kuppelige Wölbschale „eigentlich“ nur sich selbst zu tragen und am wenigsten zu halten hat! „Für“ diese Punktbelastungen just im Zenith der Wölbschalen *innen* ein strukturell-anschauliches Stütz-Gerüst – und zwar in Gestalt des *nur* im Grundriß von SE 44 gezeigten, verdoppelten Gurtpaar-Gestelles! – prinzipiell für denk- und vorstellbar zu halten, muß angesichts der stets und wesensgemäß Struktur und Gliederung tatsächlich *darstellenden* Architektur Balthasar Neumanns naheliegen. In der ausgeführten Schönbornkapelle wäre damit (zumindest) ein Hinweis auf die konstitutiven Entwurfsvorstellungen Neumanns „erhalten“ geblieben; Vorstellungen, die auf den bekannten („normal“ organisierten) Kuppelzeichnungen der Projektphase noch nicht zu finden sind (auch auf SE 44 „oben“ nicht) und die neben SE 27 dem *Grundriß von SE 44* eine Schlüsselposition für das Verständnis dieser Architektur zuweisen.

Eine ausführliche, mit den nötigen Vergleichen, Ableitungen, Anmerkungen und Literaturverweisen versahene Darstellung des hier nur kurz Zusammengefaßten soll an anderer Stelle publiziert werden.

Klassensitzungen

Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

- 13. 2. 1987 in Braunschweig
Manfred Röhrs: „Werkzeuggebrauch im Tierreich“
- 10. 4. 1987 in Hannover – Regularien
- 8. 5. 1987 in Braunschweig
Friedrich Schaller: „Aktuelle Umweltprobleme in den Alpen“
- 9. 10. 1987 in Braunschweig
Günter Maaß: „Aspekte der Protein-Nukleinsäure-Erkennung am Beispiel der Restriktionsendonuklease EcoRI“
- 13. 11. 1987 in Braunschweig
Herbert Welling: „Das SDI-Programm aus physikalischer Sicht“

Klasse für Ingenieurwissenschaften

- 13. 3. 1987 in Braunschweig
Heinz Rögener: „Bestimmung des Wirkungsgrades hydraulischer Kraft- und Arbeitsmaschinen mit thermodynamischen Methoden“
- 16. 5. 1987 in Clausthal-Zellerfeld
Vortragsveranstaltung im Zusammenhang mit der Gründung einer Kommission für Technik und Umwelt
- 11. 7. 1987 in Clausthal-Zellerfeld – Regularien
- 9. 10. 1987 in Braunschweig – Regularien
- 12. 12. 1987 in Clausthal-Zellerfeld
Vortragsveranstaltung im Zusammenhang mit der Gründung einer Kommission für Technik und Umwelt

Klasse für Bauwissenschaften

- 13. 11. 1987 in Braunschweig
Ferdinand Stefan Rostásy: „Kunststoffe im konstruktiven Ingenieurbau“

Klasse für Geisteswissenschaften

- 14. 2. 1987 in Braunschweig
Gerhard Oberbeck: „Sibirien – aktuelle wirtschafts- und verkehrsgeographische Probleme sowie ihre möglichen Auswirkungen auf die Bundesrepublik Deutschland“
- 14. 3. 1987 in Braunschweig
Joseph König: „Der Campo Santo Teutonico in Rom – ein Beitrag zu seiner Geschichte und seiner Bedeutung für das Deutschtum“
- 11. 4. 1987 in Braunschweig
Gregor Maurach: „Lessings Plautus“
- 14. 11. 1987 in Braunschweig
Peter Ganz: „Franz Kugler und Jacob Burckhardt“
- 12. 12. 1987 in Braunschweig
Edgar R. Rosen: „Rom September 1943 – Geschichte eines Waffenstillstandes (erster Teil)“

13. 2. 1987 in Braunschweig

Werkzeuggebrauch im Tierreich

(Kurzfassung)

Von **Manfred Röhrs**

Als eine besondere Leistung von Menschen wird die Erfindung, die Herstellung und der Gebrauch von Werkzeugen und Waffen angesehen. Gibt es bestimmte Formen des Einsatzes von Werkzeugen schon bei Tieren?

Fast alle Tiere müssen ihre Nahrung aktiv erwerben, häufig betreuen sie ihre Nachkommen, Angriff und Verteidigung sind weit verbreitete Aktivitäten. Im Laufe der Stammesgeschichte sind entsprechend der Biologie bei den einzelnen Arten die unterschiedlichsten *körpereigenen* Werkzeuge mit den zugehörigen Orientierungs- und Steuerungssystemen für die genannten Tätigkeiten entwickelt worden: Filter, Fangnetze, Stechapparate mit Saugpumpen, Hammer, Tentakel mit Saugnäpfen, Rüssel, Zangen, Scheren, Reibplatten, Kieferapparate, Zähne, Stilette, Geweihe, Gehörne, Greifhände usw.

Die funktionellen Möglichkeiten solcher körpereigenen Werkzeuge können erweitert werden durch körperfremde Werkzeuge. Allgemein wird nur beim Einsatz körperfremder Werkzeuge von Werkzeuggebrauch und von Werkzeugen gesprochen; so sei auch hier verfahren. Voraussetzung für solchen Werkzeuggebrauch durch Tiere (auch Menschen) sind körpereigenes Werkzeug, hohe Tastempfindlichkeit, sehr gute Lichtsinnesorgane und zugehörige zentralnervöse Systeme, welche die Steuerung von Werkzeugen ermöglichen.

Werkzeuggebrauch ist hiernach zu erwarten bei Gliederfüßern, besonders Insekten, bei Tintenfischen, Vögeln und Säugetieren. Dabei sind folgende Fragen zu stellen: Beruht Werkzeuggebrauch auf angeborenen Verhaltensweisen? Wird er durch Lernvorgänge erreicht? Wird er durch einsichtige Handlungen bewirkt?

Dazu einige Beispiele, die in der zoologischen Literatur allgemein bekannt sind. Die Ausführungen hier sind als ein Referat anzusehen. Einige Fälle von Werkzeuggebrauch sind bei Insekten nachgewiesen worden. Die Grabwespe *Ammophila campestris* gräbt vor der Eiablage eine Höhle in den Sandboden und bringt dort eine durch Stich gelähmte Schmetterlingsraupe als Nahrung ein, hierauf wird dann ein Ei abgelegt. Der Höhleneingang wird mit Sand verschlossen und die Oberfläche mit einem kleinen, von den Mundwerkzeugen gehaltenem Stein festgeklopft. Weberameisen nehmen ihre mit Spinndrüsen ausgestatteten Larven zwischen die Kauladen (Mandibeln) und führen sie wie Webschiffchen zwischen zwei benachbarten Blättern hin und her, dadurch werden die Blattränder miteinander durch Spinnfäden verbunden. Die Tiere benutzen also lebende „Gegenstände“ als Werkzeug. Werkzeuggebrauch bei Insekten beruht auf angeborenen Verhaltensweisen.

Für eine Tintenfischart ist berichtet worden, daß die Tiere warten, bis Muscheln ihre Schalen öffnen. In diesem Augenblick schieben sie mit ihrem Tentakel einen Stein als

Spreite dazwischen, die Muscheln können ihre Schalen nicht mehr verschließen und werden Beute des Tintenfisches. Genauere Untersuchungen über Werkzeuggebrauch bei Tintenfischen liegen aber nicht vor.

Unter den Wirbeltieren benutzen einige Vogel- und Säugetierarten Werkzeuge. Singdrosseln verwenden Steine als Amboß und zertrümmern darauf Schneckengehäuse (Drosselschmiede), Möwen und Krähen lassen Muscheln und Walnüsse aus großer Höhe auf steinigem Untergrund fallen, damit sie aufbrechen. Der australische Bussard steigt mit Steinen auf und bombardiert damit Gelege von Emus, solche Gelege können 12 Eier enthalten, jedes 13 cm lang und bieten damit ein gutes Ziel. Der afrikanische Schmutzgeier verwendet eine andere Methode, um Eier zu zerbrechen; in der Nähe von Straußeneiern sammelt er Steine bis zu 300 g Gewicht. Er nimmt dann einen Stein in den Schnabel und schleudert ihn gegen ein Ei, die Handlung wird wiederholt, bis das Ei zerstört ist. Es werden aber auch noch Trümmer von Eischalen mit Steinen attackiert. Steine sind ursprüngliche Werkzeuge, für ihre Verwendung durch Vögel spielen wohl angeborene Grundstrukturen und Lernen nach Versuch und Irrtum eine Rolle.

Den auffälligsten Werkzeuggebrauch bei den Vögeln zeigt der Spechtfink auf den Galapagosinseln. Diese Inseln sind vulkanischen Ursprungs und wurden nach ihrer Entstehung von Südamerika aus schrittweise durch Pflanzen und Tiere besiedelt. Dabei entstand auch eine ökologische Nische für Spechte, Spechte aber erreichten Galapagos nicht. Ein Vertreter der Darwinfinken erschloß die Nische durch Werkzeuggebrauch. Spechtfinken legen die Bohrgänge von Insekten und Insektenlarven frei, nehmen Opuntienstachel oder Stöckchen in den Schnabel und stochn die Beute heraus. Je nach Situation werden Stachel entsprechender Beschaffenheit gewählt, Stöckchen sogar bearbeitet. Isolierte Aufzucht (Kasper-Hauser-Versuch) von Spechtfinken hat ergeben, daß die Handlung auf einer angeborenen Grunddisposition beruht, in der Jugend aber im Spiel geübt und erheblich verbessert wird.

Im Küstenbereich des Pazifik von Kalifornien bis nach Sibirien leben die größten Fischotter, die Seeotter; sie ernähren sich vorwiegend von Muscheln und Seeigeln. Das Gebiß ist entsprechend spezialisiert. Der Seeotter aber hat die Fähigkeit zum Aufbrechen harter Schalen durch den Einsatz von Werkzeug wesentlich verbessert. Ein Tier holt sich gleichzeitig vom Meeresboden eine Muschel und einen Stein, an der Meeresoberfläche schwimmt es in Rückenlage mit dem Stein auf der Brust, darauf zerschlägt er dann die Muschelschale, wobei 40–50 Schläge ausgeführt werden können. Ist ein Stein besonders geeignet, dann wird er in der Achselhöhle mitgenommen und wiederholt verwendet. Ein solch „behaltenes Werkzeug“ wurde lange Zeit als charakteristisch für den Menschen angesehen. Aufgrund der Entwicklungshöhe des Gehirns beim Seeotter kann angenommen werden, daß bei dem geschilderten Verhalten Lernvorgänge beteiligt sind.

Die am weitesten entwickelten und höchst differenzierten Gehirne im Tierreich besitzen Robben, Wale, Elefanten und höhere Primaten. Robben und Wale benutzen keine Werkzeuge, ihnen fehlen hierfür körpereigene Werkzeuge. Der Elefantenrüssel ist ein sehr gutes Greiforgan mit stark ausgeprägter Tastempfindlichkeit. Mit dem

Rüssel schleudern Elefanten Erde, Steine und Knüppel gezielt auf Gegner. Stöcke werden eingesetzt, um Körperstellen zu kratzen, die mit dem Rüssel allein nicht erreicht werden können. Es ist beobachtet worden, daß Elefanten belaubte Zweige so bearbeiten, daß sie als Wedel eingesetzt werden können.

Über den Werkzeugeinsatz höherer Primaten liegen die meisten Kenntnisse von Schimpansen vor, auch aus freier Wildbahn. Schimpansen zerschlagen Kokosnüsse mit Steinen; sie führen Halme und Stöckchen in Gänge von Termitenbauten ein, die Termiten verbeißen sich daran, werden dann von den Schimpansen abgestreift und gefressen. Stöckchen werden auch zum Öffnen von Bienenstöcken benutzt, um an den Honig zu gelangen. Für dieses Verhalten ist eine angeborene Grunddisposition vorhanden. Erfahrunglose Jungtiere stochern wahllos mit Halmen und Stöcken in allen möglichen Ritzen herum. Für den Einsatz zum Nahrungserwerb sind Lernvorgänge und praktische Erfahrungen erforderlich.

Junge Schimpansen sind beim Termitenangeln zunächst wenig erfolgreich. Erfahrene erwachsene Tiere entlauben Zweige, sie brechen diese und auch Halme auf geeignetes Format zurecht und nehmen „gute“ Werkzeuge mit. Schimpansen zerkauen auch Blätter zu einer Art Schwamm zurecht und gewinnen damit Regenwasser, oder benutzen ihn, um aufgebrochene Schädel von Beutetieren auszuwischen. Als Waffen werden Stöcke und Steine eingesetzt, die sehr gezielt und auch in Kooperation auf Gegner z.B. einen Leopardengeschleudert werden.

Die Beobachtungen und Untersuchungen an Schimpansen in freier Wildbahn lassen folgende Aussagen zu: Für den Einsatz von Werkzeugen ist eine erbliche Grunddisposition vorhanden; Erfahrungen, Lernvorgänge, Übungen und auch die Neugierde verbessern aber den Werkzeuggebrauch in beträchtlichem Ausmaß. Zu vermuten sind auch einsichtige Handlungen.

Über einsichtige Handlungen sind aber nur Aussagen durch Versuche an Gefangenschaftstieren möglich, und zwar dann, wenn man Tiere Situationen gegenüberstellt, die sie vorher noch nie kennengelernt haben. Solche Versuche sind seit vielen Jahren vielfach durchgeführt worden. Dazu einige Beispiele. Außerhalb eines Käfigs wird eine Banane gelagert, welche ein Schimpanse mit der Hand nicht erreichen kann, innerhalb des Käfigs ein Stock. Bis zu 30 Minuten lang versucht der Schimpanse, die Banane mit der Hand zu greifen. Dann folgt ein langes unbeteiligtes Verharren in der Käfigecke mit gelegentlichen Blicken zur Banane und zum Stock. Dann greift der Schimpanse plötzlich den Stock und holt damit die Banane heran. Eine andere entsprechende Situation: An die Decke des Schimpansenkäfigs wird eine Banane gehängt, am Boden des Käfigs einige Kisten plazierte. Der Schimpanse versucht lange Zeit und häufig, die Banane durch Sprünge herunterzuholen. Nach wiederholten Fehlversuchen wendet sich das Tier ab, wandert umher, schreit „wütend“; Banane und Kisten läßt er aber nicht aus den Augen. Nach geraumer Zeit schlägt er einen Purzelbaum, stapelt die Kisten aufeinander, klettert hinauf und holt die Banane herunter.

In beiden Fällen kann durchaus von einsichtigem Verhalten gesprochen werden. Schimpansen lassen eine Handlungsfolge mit Werkzeugeinsatz als Vorstellungsfolge im Zentralnervensystem ablaufen und setzen sie dann in lokomotorische Aktionen um.

Viele weitere Versuche und Beobachtungen lassen den Schluß zu, daß es bei höheren Primaten einsichtige Handlungen gibt.

Schimpansen benutzen Werkzeuge eigentlich nur für augenblickliche biologische Bedürfnisse: Nahrungserwerb, Verteidigung und Angriff. Die Möglichkeiten des Werkzeuggebrauchs wurden nicht von Generation zu Generation gesteigert, von der fortlaufenden Erfindung und Herstellung immer neuer Werkzeuge kann keine Rede sein. Der Werkzeuggebrauch bei Primaten führte nicht zu Umweltveränderungen und auch nicht zur Erschließung neuer Lebensräume.

Menschen haben von ihren baumbewohnenden Primatenvorfahren das hervorragende optische System und die Greifhand mit dem hohen Tastempfinden übernommen. Mit dem Übergang zum bipeden aufrechten Gang wurden die Greifhände von Aufgaben der Fortbewegung weitgehend befreit. In der Stammeslinie zum Menschen fand in den letzten 2 Millionen Jahren eine Zunahme der Hirngröße von 500 zu 1.500 g statt und eine entsprechende Differenzierung des Gehirns (500 g Hirngewicht haben in etwa die heute lebenden Menschenaffen bei gleicher Körpergröße wie der Mensch). Es wurden somit die funktionellen Möglichkeiten des Zentralnervensystems in ganz großem Ausmaß erweitert: Zunahme des Lernvermögens, der einsichtigen Handlungen; Entwicklung von Bewußtsein und lebenslanger Neugier, Herausbildung eines hoch differenzierten Kommunikationssystems durch die menschliche Sprache.

Von Beginn ihrer Existenz setzten Menschen Werkzeuge ein und nutzten sie für Nahrungserwerb, Auseinandersetzungen und den Bau von Unterkünften. Im Gegensatz zu Tieren kam es durch Menschen zur laufenden Verbesserung der Werkzeugherstellung, zur Erfindung immer neuerer, leistungsfähigerer Werkzeuge. Auch wurden immer neue Materialien für die Werkzeugherstellung eingesetzt. Dies ist bei Menschen bedingt durch Arbeitsteilung, Spezialisierung und durch die Fähigkeit, einmal erworbene Kenntnisse von Generation zu Generation durch die Sprache weiterzugeben (später durch die Schrift, heute durch Computer). Mit diesen Fähigkeiten, mit einsichtigen Handlungen und der lebenslangen Neugier konnten Menschen nahezu alle Gebiete der Erde besiedeln, die Umwelt aktiv verändern und die eigenen Lebensbedingungen laufend verbessern.

Der Einsatz von Werkzeugen erfordert Energie und Steuersysteme. Tiere nutzen hierfür die eigene Körperkraft, ihre Sinnes- und Zentralnervensysteme. Dies haben auch Menschen sehr lange Zeit ausschließlich getan, zu einem erheblichen Teil tun sie es heute noch. Zunehmend wurden aber auch von Menschen körperfremde Energien für die Betätigung von Werkzeugen genutzt: Wind, Wasser, Haustiere, Motoren verschiedener Art. Der „Ersatz“ von Sinnesorganen und Gehirn durch technische Steuersysteme gestaltete sich dagegen weit schwieriger, hier sind in letzter Zeit Fortschritte erzielt worden. Ein vollständiger Ersatz der eigenen Körperkraft, der Leistungen von Sinnesorganen und Gehirn als Steuersystem beim Werkzeuggebrauch ist aber nicht erstrebenswert, dies würde Menschen und ihre Fähigkeiten total verändern: Nicht benutzte Organsysteme werden innerhalb relativ kurzer Zeiträume zurückgebildet.

8. 5. 1987 in Braunschweig

Aktuelle Umweltprobleme in den Alpen

Von Friedrich Schaller

Der folgende Bericht beruht nicht auf eigenen einschlägigen Untersuchungen, sondern auf einer fast 50-jährigen Wander- und Exkursionsbetätigung, die mich auf mehr als 1500 alpine Gipfel geführt hat. Als Zoologe mit vorwiegend ökologischer, speziell bodenbiologischer, Blick- und Arbeitsrichtung habe ich in diesen Jahrzehnten die tiefgreifenden Veränderungen des alpinen Lebensraums miterlebt, von denen hier die Rede sein soll.

Dazu erst eine begriffliche Vorbemerkung: Das Wort „Umwelt“ ist heute in aller Munde. Es wird allgemein anthropozentrisch verstanden und gebraucht. Der Biologe muß aber daran erinnern, daß es nicht nur um die jeweilige Umwelt von Menschen geht, sondern daß Umwelt ein umfassender wertfreier Begriff ist, der für alle irgendwie „belebten“ Räume unserer Erde gilt. Jeder Organismus hat (s)eine Umwelt, und da „Leben“ ein grundsätzlich symbiontisches Phänomen ist, haben auch immer alle Lebewesen zusammen eine gemeinsame Umwelt. Keines kann leben ohne auf andere zu wirken und zugleich von ihnen abhängig zu sein. Das gilt auch für den Menschen. Dazu kommen dann noch die sogenannten abiotischen Lebensraum-Bedingungen, die wesentlich die Qualität von Umwelt mitbestimmen: geologische Formation, Boden, Hydrologie, Klima etc.

In diesem Sinne stellen unsere europäischen Alpen einen Groß-Lebensraum dar, der gerade wegen seiner spezifischen abiotischen Bedingungen einerseits gut abgrenzbar, andererseits stark untergliedert erscheint. Der Mensch ist in den Alpen seit einigen Jahrtausenden eingewandert. Er kam dorthin nach einer säkularen Umweltkatastrophe, deren Spuren noch heute das Gesicht der Alpen formen. Jeder weiß, daß der Formenschatz unserer Alpen eiszeitbedingt ist. Flora und Fauna sind von vielen „Eiszeitrelikten“ geprägt. Auch der Mensch hat sich in den ersten Jahrtausenden seines alpinen Lebens sorgfältig an die nacheiszeitlichen Lebensbedingungen angepaßt.

Bis heute erscheint auch sein autochthoner wirtschaftlicher und kultureller Formenschatz in den Alpen umweltgeprägt. Das gilt dort für seine traditionellen Siedlungen, Verkehrswege, Wirtschaftsweisen, zumindest solange diese in autochthoner Hand bleiben. Kritisch wird das Verhältnis der Menschen zur alpinen Natur erst bei Überfremdung, d.h. wenn allochthone Interessen auf den alpinen Lebensraum einwirken und ihn und seine Ressourcen in ihrem (fremden) Sinne „umfunktionieren“.

Das geschieht nicht erst heute zum ersten Mal. Denken wir an die Frühformen des alpinen Bergbaus, der bekanntlich schon in der Hallstattzeit zu beachtlichen Umwelteingriffen geführt hat (Entwaldung!). Das geförderte Erz diente ja schon damals nicht nur der autochthonen Versorgung. Das gleiche gilt für die Almwirtschaft, deren Hauptprodukte (Butter, Käse, Fleisch, Häute) ebenfalls auch schon frühgeschichtlich der außeralpinen Versorgung gedient haben. Die heutigen alpinen Wald- und Baumgrenzen,

die um einige 100 m nach unten bzw. oben verschoben erscheinen, sind bekanntlich Langzeitfolgen jenes historischen menschlichen Umwelteingriffs. Auch der alpenüberschreitende Straßenbau, spätestens seit der Römerzeit, ist im wesentlichen als fremdbestimmter Umwelteingriff zu sehen.

Allerdings sind alle diese historischen „Umweltveränderungen“ durch den Menschen in den Alpen bis in die neueste Neuzeit hinein bescheiden und auch im wesentlichen „umweltverträglich“ geblieben, und zwar einfach mangels Masse. Sowohl die geringe Populationsdichte des Menschen wie auch seine naturnahe Technik verhinderten jahrhundertlang eine gravierende Störung des ökologischen Gleichgewichts.

Außerhalb der Menschen haben zudem lange Zeit die Alpen nur als Verkehrs- und Wirtschaftshindernis gesehen. Selbst vom naturbegeisterten Goethe gibt es solche Äußerungen. Das änderte sich erst grundlegend mit dem Eisenbahnzeitalter. Nun wurden die Alpen ästhetisch und sportiv „entdeckt“. Der beginnende Modetourismus blieb aber 100 Jahre lang ein Spleen „höherer“ Kreise. Auch die Bahn hat kaum ein Alpental wirklich „zerstört“. Allerdings hat sie spätestens seit 1900 immer größere Massen von Touristen in die Alpen gekarrt und so dazu beigetragen, daß dort immer mehr „Infrastrukturen“ für den sogenannten Fremdenverkehr wucherten (große Hotelkästen, neue Hüttenbauten, alpine Wanderwege etc.). Bis 1950 blieb das alles in Grenzen und vor allem im wesentlichen auf die Sommersaison beschränkt. Katastrophale Ausmaße erreichte die touristische Überfremdung der Alpen erst mit dem Einsetzen des sogenannten Wintertourismus, der ja in Wahrheit nicht einmal das ist, sondern nur ein winterlicher Massensport, dem die Berge lediglich als Pisten- und Schneearena dienen. Nun setzen zerstörende Eingriffe in die alpine Natur ein, deren Ausmaß exponentiell wächst und deren Folgen kaum mehr absehbar sind. Hunderte Berghänge wurden und werden gegen alle Gesetze der Bodenmechanik und Pflanzensoziologie „pistengerecht“ gesäubert und planiert, tausende „Steighilfen“ kreuz und quer über Berg und Tal montiert, riesige Hotelkomplexe mit allem Zubehör und den entsprechenden Flächen für die an- und abrollenden Blechlawinen dazu in die Landschaften betonierte. Es gibt – vor allem in Westösterreich und in den französischen Alpen – Täler, die auch im Sommer nur mehr wie gigantische Wintersportbahnanlagen erscheinen. In Tirol beispielsweise übertrifft die Länge der Skipisten schon die Länge des gesamten Straßennetzes. Die ökologischen Auswirkungen sind verheerend. Der heurige regenreiche Sommer hat es da und dort schon gezeigt. Es werden aber noch wesentlich mehr und wesentlich ärgere „Umwelt“-Katastrophen passieren müssen, bevor die Gesamtrechnung für die meist allochthonen Kapitalträger des „Wintertourismus“ spürbar negativ wird. Noch geht die Rechnung offensichtlich auf, wie ein Blick in die Werbebroschüren zeigt:

Text aus „*Reiseland Österreich*“ 3/87 (Werbeschrift der ÖBB) „Grenzenloses Skivergnügen“

„Ischgl und Saumnaun, 2 Winterparadiese in Österreich und in der Schweiz, werden zu einer *gewaltigen Skiarena* mit einem *Superskipaß* für 6 Täler mit über 150 km Abfahrtsstrecke:

34 Aufstiegshilfen, darunter 3 Einseilumlaufbahnen und eine Pendelbahn, befördern *über 35 000 Personen pro Stunde* in ein schneesicheres, atemberaubendes Bergpanorama. Und das zuverlässig, rasch und ohne lange Wartezeiten.

15 Pistengeräte sorgen Tag und Nacht für die *Pflege der Abfahrten*. . . Beim Super-skipaß sind nicht nur die Aufstiegshilfen inbegriffen. Auch der *Skibus-Pendler*, der zwischen allen angeschlossenen Orten im Paznaun regelmäßig verkehrt, gehört dazu.“ – usw.

Man beachte die Wortwahl und bedenke, daß sie auf eine „Zielgruppe“ gemünzt ist, die man ja locken und nicht abschrecken will!

Wer sich an Orten mit Transportkapazitäten für 35000 Menschen wohlfühlt, besitzt wohl auch kaum die nötige Sensibilität für eine gestörte und gefährdete „Umwelt“!

Noch katastrophaler sind die Fremdeingriffe in den sogenannten Sommerski-gebieten, für die ebenfalls Österreich die anschaulichsten Beispiele liefert: Kitzsteinhorn, Obergurgl, Dachstein, Pitztal, und neuerdings besonders drastisch Kaunertal und Wurtenees („Skigastein“). Auch dort sollte man, um die abgründige, naturentfremdende Mentalität ihrer „Macher“ zu spüren, in die Werbeprospekte schauen und Worte wie „Gletschern“, Skiparadies, Skizirkus, Skischaukel auf der Zunge zergehen lassen; dazu im Hintergrund die adäquaten Infrastrukturen Revue passieren lassen: Tonnenschwere Pistenpflegegeräte, bunte Pistenbeschilderung und Fahrbahnbegrenzungen, Kioske für alle Zwecke, im Tal die Retorten- und Reißbrettwohn- und Schlafburgen, die bunten und lauten Etablissements für „Après“, das flächendeckende rol-lende und abgestellte Blech, die notdurftgedrungenen Entsorgungsanlagen und Kanalsysteme.

Auf jeden Fall stellt der Massentourismus (im Winter und im Sommer) das größte aktuelle „Umweltproblem“ unserer Alpen dar. An modisch verdichteten Punkten ist es sicht- und riechbar: Das Zugspitzplateau ist buchstäblich voller Scheiße. Am Matterhorn mußte man bereits Klohüttchen montieren. Die Müll- und Abwasserprobleme vieler Alpenvereinshütten stinken bekanntlich zum Himmel. In den alpinen Regionen der Österreichischen Alpen allein beträgt der jährliche Anfall an Müll 4500 to, an Abwässern 90000 m³.

Die tourismusbedingte alpine Umweltproblematik betrifft aber auch noch ganz andere Bereiche einer richtig verstandenen Humanökologie. Es sind das die sozialen Gefügeelemente der autochthonen Bevölkerung, die in rascher Auflösung begriffen sind. Der Kürze wegen verdeutliche ich diesen bedrohlichen Aspekt durch 3 graphische Darstellungen (Abb. 1 und 2, Tab. 1).

Sie zeigen auch ohne Kommentar ein Phänomen auf, das sich anschaulich als Erosion der Sozialstrukturen und Gesinnungen bezeichnen läßt.

Es sind also nicht nur die verdichteten und falsch wiederbegrüntem Skipisten unserer Alpentäler erosionsbedroht, sondern auch die überfremdeten Gemüter der Talbewohner. Auch wenn sie ihre überkommenen ortsgemäßen Bräuche weiterpflegen, so ist der Verlust an originärer Motivation unübersehbar. Alpine Natur und alpine Kultur werden zu Mitteln für fremde Zwecke. Ich persönlich meine, daß die ästhetischen Verluste

c) Gealptes Vieh 1950/52

Alpung in den betreffenden Bezirken einschließlich ausmärkisches Vieh

Aufgliederung des gealpten Viehs:

- Kühe (über 3 Jahre)
- Sonstige Rinder
- Pferde
- Schafe
- Ziegen
- Schweine

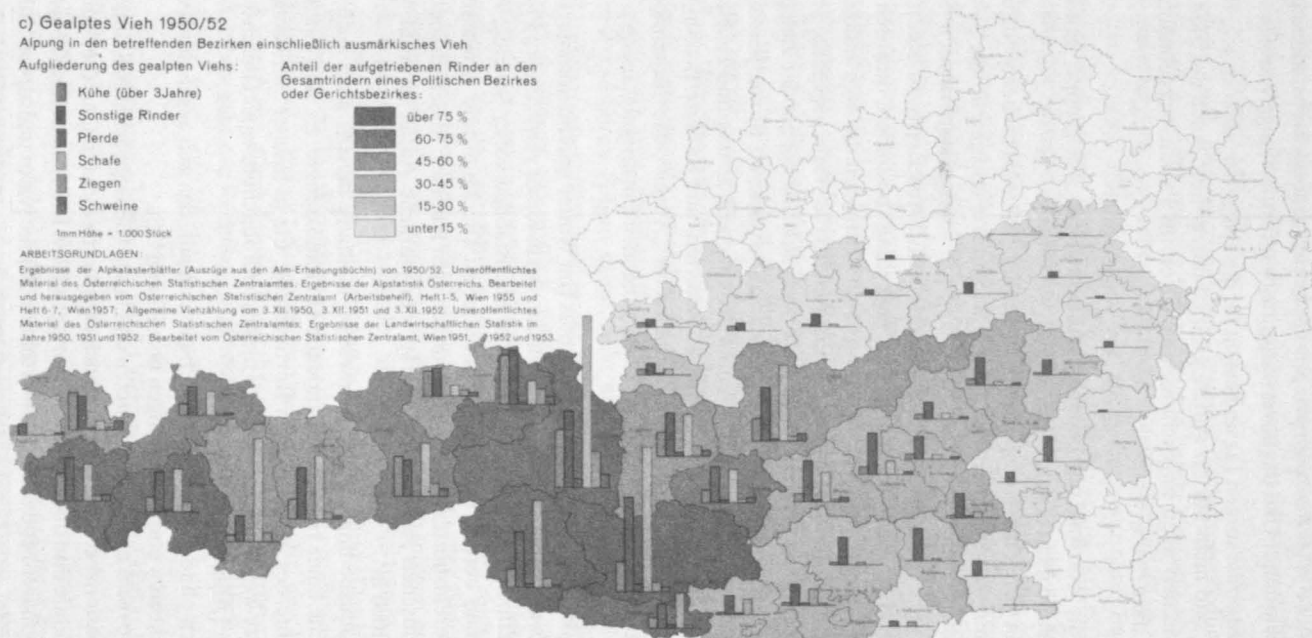
1mm Höhe = 1.000 Stück

Anteil der aufgetriebenen Rinder an den Gesamtindern eines Politischen Bezirkes oder Gerichtsbezirkes:

- über 75 %
- 60-75 %
- 45-60 %
- 30-45 %
- 15-30 %
- unter 15 %

ARBEITSGRUNDLAGEN:

Ergebnisse der Alpkalenderblätter (Auszüge aus den Alm-Erhebungsbüchern) von 1950/52. Unveröffentlichtes Material des Österreichischen Statistischen Zentralamtes. Ergebnisse der Alpkalenderblätter Österreichs. Bearbeitet und herausgegeben vom Österreichischen Statistischen Zentralamt (Arbeitsheft), Heft 1-5, Wien 1955 und Heft 6-7, Wien 1957. Allgemeine Viehzählung vom 3. XII. 1950, 3. XII. 1951 und 3. XII. 1952. Unveröffentlichtes Material des Österreichischen Statistischen Zentralamtes. Ergebnisse der Landwirtschaftlichen Statistik im Jahre 1950, 1951 und 1952. Bearbeitet vom Österreichischen Statistischen Zentralamt, Wien 1951, 1952 und 1953.



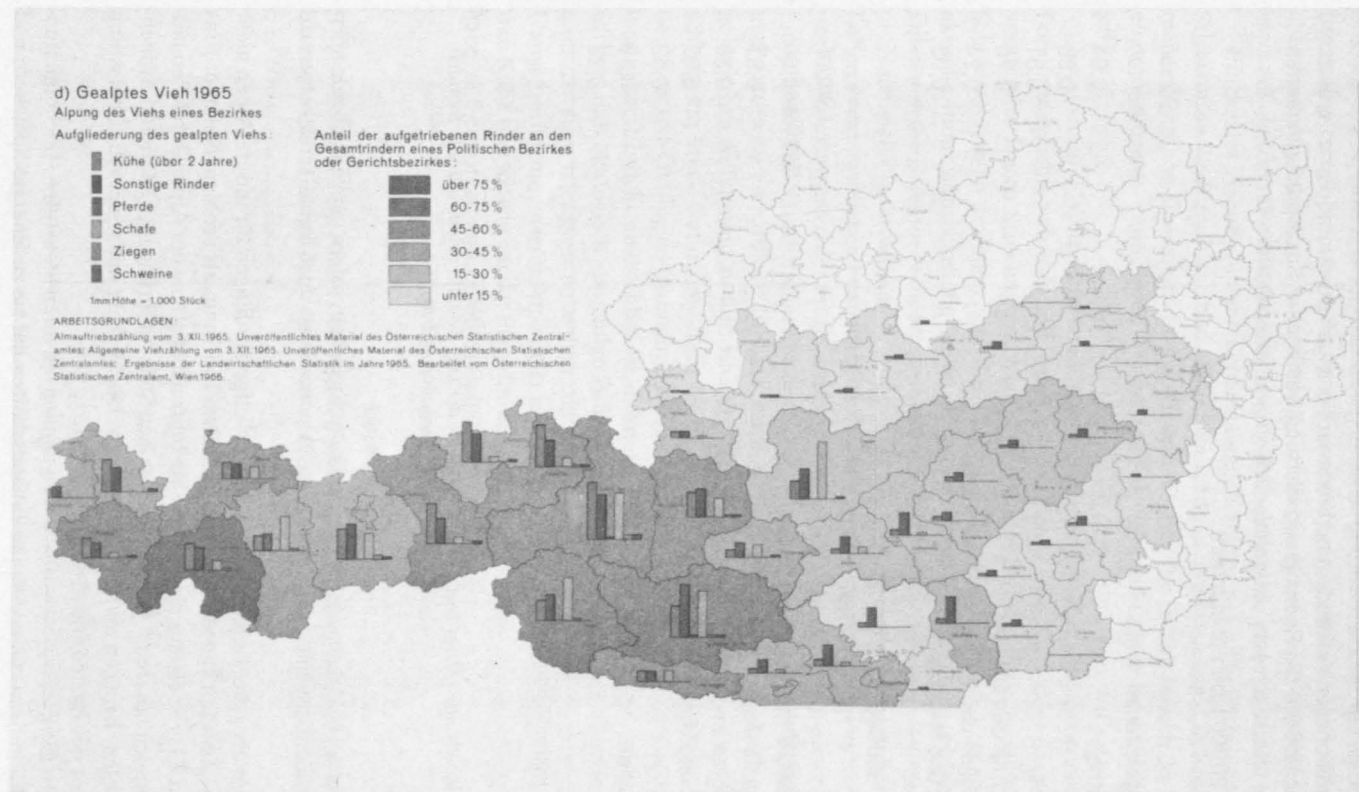


Abb. 1 und 2:

Ein Vergleich der beiden Darstellungen zeigt, daß das Vieh auf den österreichischen Alpen von 1950 bis 1965 drastisch abgenommen hat [1]. Damit ist ein schwerer Verlust an lebensraumspezifischen Wirtschaftsformen, Landschaftspflege und Brauchtum verbunden.

Im Gefolge der „Modernisierung“ ehemaliger Bauerndörfer werden meist auch die traditionellen Weltbilder und Wertorientierungen durch „moderne“ ersetzt. Vergleichen Sie die Reihung und Wertung bestimmter Sozialprestigekriterien in zwei touristisch sehr unterschiedlich strukturierten Dörfern Tirols:

V (ca. 20 000 Übernachtungen)

<i>Prestigekriterien</i>	<i>Sozial-Koeffizienten</i>
Beliebtheit	0,94
Moral	0,88
Fleiß	0,81
Einsatz für den Ort	0,76
Tüchtigkeit und wirtschaftlicher Erfolg	0,24
Besitz und Vermögen	0,03

O (ca. 350 000 Übernachtungen)

<i>Prestigekriterien</i>	<i>Sozial-Koeffizienten</i>
Einsatz für den Ort	0,91
Tüchtigkeit und wirtschaftlicher Erfolg	0,76
Besitz und Vermögen	0,62
Fleiß	0,62
Beliebtheit	0,49
Moral	0,22

Quelle: Journal für Sozialforschung 1983/3

Tab. 1:

Diese Tabelle aus [2] verdeutlicht das Problem der sog. Sozialerosion, das alle fremdenverkehrsbelasteten Gemeinwesen betrifft.

dabei noch viel beklagenswerter sind als die ökologischen, sofern man nicht beide überhaupt für identisch hält. Eine verhunzte Alpenwelt ist auch keine (er)lebenswerte mehr.

Es seien aber die weiteren aktuellen Umweltgefährdungen für unsere Alpen nicht vergessen. Zum Teil hängen sie sowieso mit dem Tourismus als Problem Nummer Eins zusammen. Das ist erstens die rigorose Verkehrserschließung der Alpen durch den modernen Straßenbau. Jeder kennt ihn mit seinen Stelzenführungen, Galerien, Lawinenschutzanlagen, Brücken und Aufschüttungen. Der Verkehr mit seiner Abgasbelastung hat ja längst den letzten Alpenwinkel erreicht.

Dann ist die Elektrizitätswirtschaft zu nennen mit ihren Staustufen, Bachumleitungen, Verdrahtungen. Ganze alpine Tallandschaften hat sie zu Energie-Speichern und

Stromgewinnungsanlagen „verfremdet“. Und nicht selten ist sie letzten Endes mit ihrem Kapital die Fremdersache für die naturwidrigen „Entwicklungs“-Pläne so mancher biederen Talgemeinschaft, die ohne solche Gedanken- und Geldhilfe gar nicht etwa auf die Idee eines Sommerskizirkus gekommen wäre.

Ein letzter Aspekt alpiner Lebensraumgefährdung sei schließlich noch mit den Stichworten Wildhege, Jagd und alpine Schutzwälder angesprochen. Die luxurierende, meist allochthon finanzierte und betriebene Jägerei hat in den letzten 20 Jahren zu einer ökologisch untragbaren Vermehrung des Wildbestandes auch in den Alpen geführt.

Sommer- und Winterhege und Fütterung haben die natürliche lebensraumgerechte Populationsdichte von Reh und Rotwild so gesteigert, daß die Wälder das nicht mehr verkraften. Durch Schälung und Verbiß ist nun der Baumnachwuchs in den alpinen Schutzwäldern so dezimiert, daß diese bedenklich „vergreist“ sind. Kommt noch die aktuelle Immissionsbelastung hinzu, so werden die Schutzwälder in absehbarer Zeit fallen und die Bahn für verheerende Lawinen- und Murenabgänge freigeben.

Noch vieles mehr wäre zu sagen, um die aktuelle Umweltproblematik im alpinen Lebensraum ausreichend darzustellen. Ich will das aber unterlassen und nur noch ein paar Überlegungen zu der Frage anstellen, was wir in dieser prekären Lage zum Guten tun können. Wir Naturforscher müssen forschen, lehren, aufklären. Wir müssen Wissen und naturwissenschaftliche Bildung verbreiten. Das hat hauptsächlich mit anthropologischer Aufklärung zu tun: Ehe der Mensch nicht wirklich begriffen hat, daß er schlicht ein Stück Natur (und nicht ihr Gegenstück!) ist, haben wir keine Hoffnung, den Konflikt Ökologie–Ökonomie lösen zu können. Da aber die generelle Vermittlung jener Einsicht unabsehbar ist, müssen wir auch politisch aktiv sein und dahin wirken, daß ökologisch einsichtige Politiker an die Macht kommen. Als Österreicher muß ich dazu allerdings bekennen, daß dies speziell im Hinblick auf die aktuellen Umweltprobleme unserer Alpen fast aussichtslos erscheint. Denn eine unserer heiligsten Kühe ist nach wie vor der Fremdenverkehr, von dem ich doch aufzuzeigen versucht habe, daß er derzeit unser größtes alpines Umweltübel ist –.

Literatur

- [1] Zwittkowitz, F.: Die Almen Österreichs. Eigenverlag, Zillingdorf-Niederösterreich 1974.
- [2] Preglan, M.: Grenzen des Massentourismus?, Journal für Sozialforschung **23** (1983), S. 325–349.

9.10.1987 in Braunschweig

Aspekte der Protein-Nukleinsäure-Erkennung am Beispiel der Restriktionsendonuklease EcoRI

(Kurzfassung)

Von Günter Maaß

Die spezifische Erkennung bestimmter Nukleinsäuresequenzen durch Proteine ist ein zentrales Problem der Molekularbiologie. Sie ist eine Voraussetzung für den reibungslosen Ablauf von Replikation, Transkription und Translation der genetischen Information in der Zelle, genauso wie sie unabdingbar ist für das gezielte Schneiden der Desoxyribonukleinsäure (DNA) in der Gentechnologie mithilfe bestimmter Enzyme, der Restriktionsendonukleasen. Am Beispiel eines solchen Enzyms, der Restriktionsendonuklease EcoRI, sollen einige wichtige Grundprinzipien der Protein-Nukleinsäurewechselwirkung erläutert werden.

Dieses Enzym besteht aus zwei identischen Untereinheiten, die zur Erkennung und Spaltung der palindromen DNA-Sequenz

GAATTC

CTTAAG

zusammenwirken müssen. A, G, T, C sind die Nukleinsäurebasen. Das Enzym benötigt zu seiner katalytischen Funktion Mg^{2+} als Cofaktor. Es spaltet die doppelsträngige DNA-Sequenz an den markierten Positionen. Bei statistischer Verteilung der vier Nukleinsäurebasen findet man eine Sechsersequenz jedes 4096te Basenpaar. Diese Sequenz muß aus einer Vielzahl für das betreffende Enzym unspezifischer Sequenzen herausgefunden werden.

Aus vielen Untersuchungen an anderen Nukleinsäure bindenden Proteinen ist bekannt, daß diese an unspezifische Nukleinsäuresequenzen zwar stark binden, an spezifische Sequenzen jedoch viele Größenordnungen stärker. Dabei konnte gezeigt werden, daß die unspezifische Wechselwirkung im wesentlichen elektrostatischer Natur ist, während zur spezifischen Erkennung insbesondere Wasserstoffbrücken zwischen entsprechenden Donor- und Akzeptorgruppen der DNA-Doppelhelix einerseits und den Aminosäureketten und Peptidgruppierungen des Proteins andererseits verantwortlich sind. Dieses Prinzip gilt auch für das Restriktionsenzym EcoRI. Wie durch chemische Modifikationen insbesondere an den Nukleinsäurebasen der Erkennungssequenz und durch Röntgenstrukturanalyse des Kokristalls aus Enzym und eines tridekameren Oligonukleotids gezeigt wurde, besteht die Erkennungsmatrix aus zwölf Wasserstoffbrücken, wobei die beteiligten Gruppen an den Nukleinsäurebasen und im Protein identifiziert werden konnten.

Die für diesen spezifischen Komplex gefundene thermodynamische Stabilität von ca. 10^9 M^{-1} gegenüber 10^6 M^{-1} für die unspezifische Bindung reicht jedoch nicht aus, um die unter normalen Bedingungen gefundene extrem niedrige Fehlerrate bei der DNA-Spaltung zu erklären. Nun kann ein Enzym seine hohe Spezifität gegenüber

seiner Erkennungssequenz nicht nur über eine hohe spezifische Bindung, sondern auch über seine kinetischen Fähigkeiten erreichen, indem es von mehreren Reaktionswegen nur einen auswählt und nur hier die Reaktion mit optimaler Geschwindigkeit abläuft.

Detaillierte kinetische Untersuchungen haben zu dem Ergebnis geführt, daß die Spaltung der Phosphoesterbindung zwischen den Nukleinsäurebasen G und A mit einer Geschwindigkeit von $0,35 \text{ sec}^{-1}$ erfolgt. Diese Geschwindigkeit hängt aber noch von der Basenzusammensetzung in unmittelbarer Nachbarschaft der kanonischen Sequenz ab, in dem Sinne, daß G-reiche Sequenzen gegenüber A-reichen die Reaktionsgeschwindigkeit um etwa eine Größenordnung verringern.

Neben den Nukleinsäuresequenzen in unmittelbarer Nachbarschaft der Erkennungsstelle können jedoch auch weiter entfernte Sequenzen dazu beitragen, die Zielsequenz zu erreichen. Durch umfangreiche Untersuchungen konnten wir zeigen, daß die unspezifische Bindung die Voraussetzung für die lineare Diffusion auf der doppelsträngigen DNA darstellt. Mit der experimentell bestimmten Diffusionskonstanten von $5 \times 10^{-14} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$ und einer Dissoziationsgeschwindigkeit des Enzym-Substrat-Komplexes von 10 sec^{-1} errechnet sich, daß das Enzym während seiner Bindung an die DNA über etwa 1000 Basenpaare hinweg diffundiert, bevor es abdissoziiert. Damit wird ein Enzym, das im Abstand von 1000 Basenpaaren links oder rechts von der Erkennungssequenz auf die DNA auftritt, sein Ziel finden.

Wie wir ferner durch Einsatz der Verfahren der schnellen Kinetik zeigen konnten, ist für die Erkennung der spezifischen Sequenz eine der Spaltung vorgelagerte Konformationsumwandlung des Enzyms erforderlich. Diese Konformationsumwandlung wird nicht beobachtet bei der Bindung des Proteins an unspezifische DNA-Sequenzen. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, daß in diesem Fall die Spezifität nicht allein thermodynamisch zu beschreiben ist, sondern daß vielmehr der Bindung nachgelagerte Reaktionen spezifitätsbestimmend sein müssen.

Detaillierte Aussagen über die im Erkennungsprozeß beteiligten Wechselwirkungen können aus chemischen Modifikationsstudien an der DNA und an der Proteinstruktur gewonnen werden. Während chemische Modifikationen an Nukleinsäuren mithilfe moderner Syntheseverfahren verhältnismäßig einfach durchgeführt werden können, kann eine gezielte Mutation einer bestimmten Aminosäure in der Proteinkette nur unter Einsatz molekularbiologischer und insbesondere gentechnologischer Verfahren erreicht werden. Hierzu müssen nicht nur das betreffende Gen und die Primärsequenz des Proteins bekannt sein, sondern es sollte auch eine möglichst weitgehende Kenntnis der räumlichen Struktur des Proteins und/oder des Protein-Nukleinsäure Komplexes vorliegen. Eine 3\AA -Röntgenstrukturanalyse eines EcoRI-DNA Komplexes wurde Ende 1986 von J. Rosenberg veröffentlicht. Durch Kombination der genannten Verfahren konnte gezeigt werden, daß die sequenzspezifische Erkennung der kanonischen Hexanukleotidsequenz – GAATTC – durch 12 Wasserstoffbrücken zwischen den Aminosäuren Glu 144, Arg 145, Arg 200 und den Purinbasen GAA der zweifach symmetrischen DNA-Sequenz über die große Grube der DNA erfolgt. Dabei arbeiten die beiden Untereinheiten des Enzyms Hand in Hand zusammen, indem jeweils ein Paar benachbarter A's über Wasserstoffbrücken zum Glu 144 der einen

Untereinheit bzw. zum Arg 145 der anderen verbunden ist. Nur die äußere Base G wird von jeweils einer Untereinheit über Wasserstoffbrückenbindung an die Aminosäure Arg 200 erkannt.

Neben diesem nunmehr relativ gut festgelegten „Erkennungsmotiv“ ist zur Zeit noch unklar, welche Aminosäuren in welcher räumlichen Proteindomäne das „Spaltungsmotiv“ für die Spaltung der beiden Posphoesterbindungen bilden. Die Lösung dieser Frage wird zur Zeit in unserem Institut durch Einsatz der Verfahren der gezielten Mutagenese angestrebt.

Die sehr hohe Sequenzspezifität der EcoRI Restriktionsendonuklease ist die Folge einer Reihe einzelner Schritte wie unspezifischer DNA-Bindung, linearer Diffusion und einer Konformationsumwandlung des Proteins als Voraussetzung für die Ausbildung der Wasserstoffbrücken im spezifischen Komplex. Mit zunehmendem Verständnis von Struktur und Funktion bei der EcoRI sollte es möglich sein, zu einem besseren Verständnis von Protein-Nukleinsäure Erkennungsprozessen zu kommen und herauszufinden, ob individuellen Erkennungsmechanismen ein genereller DNA Erkennungscode zugrunde liegt.

13. 11. 1987 in Braunschweig

Das SDI-Programm aus physikalischer Sicht

(Zusammenfassung)

Von **Herbert Welling**

Es war auf keinen Fall das Anliegen dieses Vortrages, ein SDI-Programm zu verteidigen. Es sollte dagegen versucht werden, die physikalischen Grundlagen darzulegen, um auf diese Weise die Basis für eine technische oder strategische oder politische Einschätzung zu geben.

Das Programm ist vom Präsidenten Reagen angegeben als Entwicklung eines Systems, das ausschließlich für die Verteidigung gegenüber einer Raketenbedrohung gedacht ist.

Solch ein System ist denkbar mit Lasern, deren Strahlung sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Die Laserstrahlung könnte Raketen bereits in der Aufstiegsphase vernichten.

Für die Beurteilung des SDI-Programms wurde von der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft ein guter Weg eingeschlagen. Sie setzte eine 17-köpfige „Study Group“ ein, die sich aus Mitgliedern von der Universität, der Industrie und Mitgliedern aus militärischen Institutionen zusammensetzte.

Die Kommission hat in mehr als zwei Jahren viele Problemkreise des SDI-Programms diskutiert und hat im März 1987 die wesentlichen Ergebnisse in einem Bericht veröffentlicht.

Der Bericht macht deutlich, daß mit dem heutigen Stand der Technik ein Laserabwehrsystem nicht realisiert werden kann, da in sehr vielen Problembereichen zwischen dem heutigen Können und den wichtigen Erfordernissen mehrere Größenordnungen liegen.

13.3.1987 in Braunschweig

Bestimmung des Wirkungsgrades hydraulischer Kraft- und Arbeitsmaschinen mit thermodynamischen Methoden

Von **Heinz Rögner**

1. Messung des Wirkungsgrades von Strömungs-Kraft- und Arbeitsmaschinen

Als Gütemaß für adiabate Gas- und Dampfturbinen und -verdichter wird vornehmlich der isentrope Wirkungsgrad benutzt, bei dem die Wellenleistung P und das Produkt aus Fluidmassenstrom \dot{m}_1 und isentroper Gesamtenthalpiedifferenz

$$\Delta h_s^* = h^*(p_1^*, T_1^*) - h^*(p_2^*, s_1) = h(p_1, T_1) - h(p_2, s_1) + \left(\frac{c_1^2}{2} - \frac{c_2^2}{2} \right) + g(z_1 - z_2) \quad (1)$$

zueinander ins Verhältnis gesetzt werden:

$$\eta_T = \frac{-P}{\dot{m}_1 \Delta h_s^*} \text{ (Turbine)}, \quad \eta_V = \frac{-\dot{m}_1 \Delta h_s^*}{P} \text{ (Verdichter)}. \quad (2), (3)$$

Mit der für stationären Betrieb geltenden Leistungsbilanz

$$P + \dot{m}_1(h_1^* - h_2^*) = 0 \quad (4)$$

nehmen die Gl. (2) und (3) die Form

$$\eta_T = \frac{h^*(p_1^*, T_1^*) - h^*(p_2^*, T_2^*)}{h^*(p_1^*, T_1^*) - h^*(p_2^*, s_1)} \quad (5)$$

bzw.

$$\eta_V = \frac{h^*(p_1^*, T_1^*) - h^*(p_2^*, s_1)}{h^*(p_1^*, T_1^*) - h^*(p_2^*, T_2^*)} \quad (6)$$

an.

Jedes der beiden Gleichungspaare (2, 3) und (5, 6) bildet die Grundlage für ein bestimmtes Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades.

Das eine, als direkt zu bezeichnende Verfahren verlangt die Messung der Größen

Wellenleistung P
Massenstrom \dot{m}
Eintrittstotaldruck p_1^*
Eintrittstotaltemperatur T_1^*
Austrittstotaldruck p_2^* ,

das zweite, als indirekt zu bezeichnende Verfahren verlangt die Messung der Größen

Eintrittstotaldruck p_1^*
Eintrittstotaltemperatur T_1^*

Austrittstotaldruck p_2^*

Austrittstotaltemperatur T_2^* .

Die Totalgrößen T^*, p^* können direkt mit Hilfe eines adiabaten Staurohres sowie eines Thermometers und eines Manometers, die in einer adiabaten Kammer auf der Höhe $z = 0$ angeordnet sind, gemessen werden.

2. Bestimmung des Wirkungsgrades aus der Zustandsänderung des Fluids

2.1 Grundlagen

Auch bei hydraulischen Kraft- und Arbeitsmaschinen wird zur Wirkungsgradbestimmung neben der direkten seit langem auch die indirekte Methode – hier als Thermodynamisches Meßverfahren bezeichnet – angewandt, zunächst nur bei Wasserturbinen und Speicherpumpen [1–4], später auch bei Kesselspeisepumpen [5–7] sowie bei Pumpen und Motoren in der Ölhydraulik [8, 9].

Bild 1 zeigt die Darstellung des Wasserturbinenprozesses im Mollier (h, s)-Diagramm. Für die Berechnung von Enthalpie und Entropie des Druckwassers steht eine Reihe von kanonischen Zustandsgleichungen neueren Datums zur Verfügung [10–15]. Bemerkenswert an diesem Diagramm ist vor allem, daß für Flüssigkeitstemperaturen weit unterhalb der kritischen Temperatur die Isothermen sehr steil, an einem Dichtemaximum sogar senkrecht verlaufen.

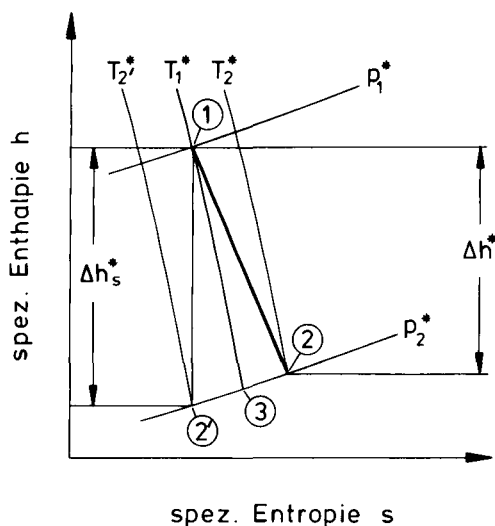


Bild 1:
Wirkungsgradbestimmung aus Ein- und Austrittsmeßwerten der Temperatur und des Drucks
(Turbine)

Aus Temperatur und Druck auf Ein- und Austrittsseite der Maschine ergeben sich unmittelbar die Ein- und Austrittsenthalpien sowie ihre Differenz. Die Enthalpie zum Endzustand der isentropen Expansion (bzw. Kompression bei einer Pumpe) kann erst nach Berechnung der Endtemperatur T_2^* aus der Gleichung

$$s(p_2^*, T_2^*) = s(p_1^*, T_1^*) \quad (7)$$

bestimmt werden.

Einen Anhalt für die Größenordnung der zu messenden Temperaturdifferenzen möge das folgende für eine Wasserturbine geltende Beispiel geben:

Bei einer Zulauftemperatur von 10°C ,
 einem Zulaufdruck von $5,1 \text{ MPa}$,
 einem Ablaufdruck von $0,1 \text{ MPa}$,
 einem isentropen Wirkungsgrad von $0,95$

führt die isentrope Entspannung zu einer (errechneten) Abkühlung um 32 mK mit einer Unsicherheit von etwa $\pm 0,3 \text{ mK}$, die reale Entspannung zu einer (gemessenen) Erwärmung um 28 mK mit einer Meßunsicherheit von etwa $\pm 0,5 \text{ mK}$. Aus den genannten Unsicherheiten allein folgt eine Unsicherheit des Wirkungsgrades von etwa $\pm 7 \cdot 10^{-4}$.

2.2 Direkte Messung der Temperaturdifferenz

Die kleine absolute Unsicherheit der Temperaturdifferenzmessung kann sowohl mit Pt-Widerstandsthermometern und Thermistoren in Brückenschaltung als auch mit Quarzthermometern und Thermosäulen erreicht werden.

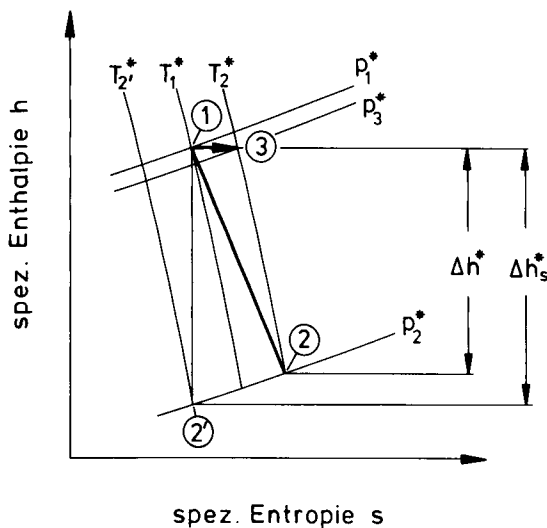


Bild 2:
 Wirkungsgradbestimmung nach der Methode der partiellen Entspannung
 (Turbine)

2.3 Bestimmung der Temperaturdifferenz aus einer isenthalpen Entspannung

In eleganter Weise kann die Temperaturdifferenzmessung hoher Genauigkeit überflüssig gemacht werden durch die sogenannte Methode der partiellen Entspannung, deren Prinzip aus Bild 2 ersichtlich ist [4]. Dem Fluidstrom wird auf der Zulaufseite ein Teilstrom entnommen und isenthalp bis auf die Ablauftemperatur entspannt. Hier ist also nur eine Temperaturgleichheit – allerdings mit einer hochempfindlichen Meßanordnung – festzustellen. Die gesuchte reale Enthalpiedifferenz ($h_1^* - h_2^*$) kann dann aus dem Diagramm abgegriffen werden. Numerisch ergibt sich die Temperaturdifferenz $\Delta T_{12}^* = (T_2^* - T_1^*)$ aus der Gleichung

$$h^*(p_1^*, T_1^*) = h^*(p_3^*, T_1^* + \Delta T_{12}^*). \quad (8)$$

Zur Bestimmung der isentropen Enthalpiedifferenz ist wieder zunächst die Entspannungsendtemperatur T_2^* aus Gleichung (7) zu ermitteln.

Das Verfahren wird heute vor allem bei Wasserturbinen eingesetzt, erreicht jedoch seine Anwendungsgrenze, sobald die Isotherme durch Punkt 1 auch durch Punkt 2 läuft oder mit anderen Worten die reale Temperaturänderung gleich Null wird.

2.4 Bestimmung der Temperaturdifferenz aus einer isentropen Kompression

Kühlt sich das Fluid beim Durchfluß durch die Turbine ab, so kann der Wirkungsgrad wieder ohne direkte Messung der Temperaturdifferenz bestimmt werden, indem die zuvor beschriebene isenthalpe Entspannung durch eine isentrope Kompression

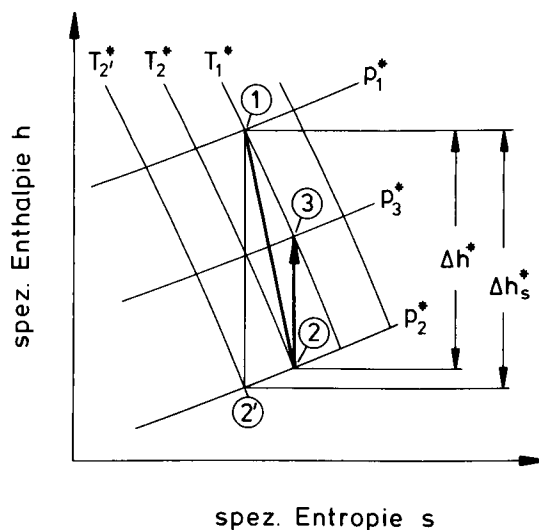


Bild 3:
Wirkungsgradbestimmung nach der Methode der partiellen Kompression
(Turbine)

ersetzt wird (Bild 3): Aus dem ablaufenden Wasser wird ein Teilstrom abgezweigt und in einem Behälter durch isentrope Kompression bis auf die Zulauftemperatur T_1^* erwärmt. Aus

$$s(p_2^*, T_2^*) = s(p_3^*, T_1^*) \quad (9)$$

ergibt sich die Ablauftemperatur T_2^* .

2.5 Näherungsverfahren zur Berechnung des Wirkungsgrades aus den Meßwerten

Ein Näherungsverfahren zur Berechnung des isentropen Wirkungsgrades ergibt sich auf folgendem Wege (hierzu Bild 1): in den Gleichungen

$$\Delta h^* = \int_2^3 c_p dT + \int_3^1 a dp, \quad (10)$$

$$\text{mit } a = \left(\frac{\partial h}{\partial p} \right)_T = v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p, \quad (11)$$

$$\text{und } \Delta h_s^* = \int_{2'}^1 v dp \quad (12)$$

ersetzt man die Integrale durch Näherungsausdrücke:

$$\Delta h^* = \bar{c}_p (T_3^* - T_2^*) + \bar{a} (p_1^* - p_2^*) \quad (13)$$

mit

$$\bar{c}_p = c_p \left(p_2^*, \frac{T_3^* + T_2^*}{2} \right), \quad (14)$$

$$\bar{a} = a \left(\frac{p_1^* + p_2^*}{2}, T_1^* \right); \quad (15)$$

$$\Delta h_s^* = \bar{v} (p_1^* - p_2^*) \quad (16)$$

mit

$$\bar{v} = v \left(\frac{p_1^* + p_2^*}{2}, \frac{T_1^* + T_2^*}{2} \right); \quad (17)$$

hier muß zunächst noch die Temperatur T_2^* aus der Bedingung

$$s_1 - s_{2'} = \int_{2'}^3 \frac{c_p}{T} dT - \int_3^1 \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp = 0 \quad (18)$$

(wieder näherungsweise) bestimmt werden:

$$s_1 - s_2' = \frac{c_p(p_1^*, T_3^*)}{T_3^*} \cdot (T_3^* - T_2'^*) - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left(\frac{p_1^* + p_2^*}{2}, T_1^* \right) \cdot (p_1^* - p_2^*) \quad (19)$$

folglich mit $T_3^* = T_1^*$:

$$T_2'^* = T_1^* - \frac{\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left(\frac{p_1^* + p_2^*}{2}, T_1^* \right)}{c_p(p_2^*, T_1^*)/T_1^*} \cdot (p_1^* - p_2^*). \quad (20)$$

Tabellen der Größen

$$c_p(T, p), \quad a(T, p) = v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p, \quad v(T, p),$$

aus denen sich auch die Größe

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p(T, p) = \frac{v - a}{T}$$

ergibt, sind enthalten in

Norme internationale ISO/DIS 5198: Pompes centrifuges, hélico-centrifuges et hélicoides – Code d'essais de fonctionnement hydraulique – Classe de précision

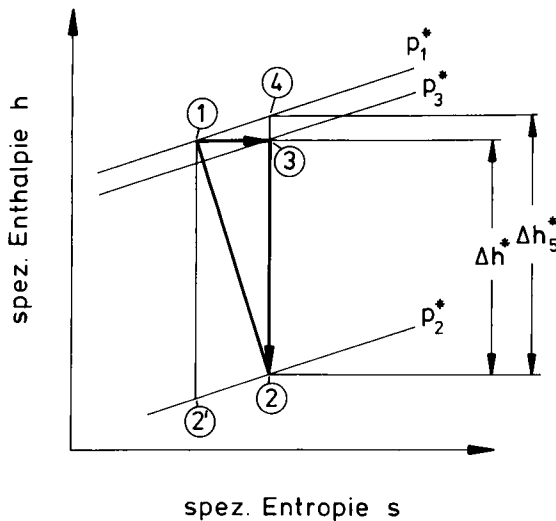


Bild 4:

Wirkungsgradbestimmung bei unbekanntem Fluid durch kombinierte isenthalpe und isentrope Entspannung (Turbine)

Das Verfahren wird nur bei relativ flachen Isothermen in Betracht kommen, da sonst der Enddruck der isentropen Kompression zu hoch liegen könnte.

Hier bietet sich eine andere, in Bild 6 dargestellte Methode an: Auf der Druckseite wird ein Teilstrom im Zustand 2 entnommen und bis zum Saugdruck isenthalp entspannt. Eine zweite Probemenge vom Zustand 2 wird anschließend isentrop entspannt. Das Verhältnis der Temperaturdifferenzen ($T_4^* - T_3^*$) und ($T_4^* - T_1^*$) ist dann gleich dem Wirkungsgrad:

$$\eta_s = \frac{\Delta h_s^*}{\Delta h^*} = \frac{T_4^* - T_3^*}{T_4^* - T_1^*} = 1 - \frac{T_3^* - T_1^*}{T_4^* - T_1^*}. \quad (22)$$

Dabei ist nicht einmal eine Kalibrierung der Temperaturmeßeinrichtung erforderlich, es genügt die Bestimmung des „Ausschlagsverhältnisses“, z. B. des Spannungsverhältnisses einer Thermosäule.

Literatur

- [1] Barbillon, L. und Poirson, A.: Sur une méthode thermométrique de mesure du rendement des turbines hydrauliques. La Huille Blanche (1920), S. 217–221.
- [2] Willmer, H.: Thermische Untersuchungen an Kreiselpumpen. Dissertation TH Braunschweig (1931).
- [3] Umpfenbach, K.T.: Kalorimetrisches Verfahren zur Wirkungsgradbestimmung an Wasserturbinen. Dissertation TH Berlin (1937). Abstract in Wasserkraft und Wasserwirtschaft, Bd. 33 (1938), S. 11–21.
- [4] Wilm, G. und Campmas, P.: Mesure du rendement des turbines hydrauliques par la méthode thermométrique Poirson. La Huille Blanche (1954), S. 449–460 und 592–607.
- [5] Sack, M.: Über die thermodynamische Methode zur Bestimmung der Wellenleistung und des Wirkungsgrades von Hochdruck-Speisepumpen. Brennstoff – Wärme – Kraft 11 (1959), S. 511–516.
- [6] Rögener, H. und Arens-Fischer, F.: Bestimmung des inneren Wirkungsgrades von Kesselspeisepumpen aus der Messung von Druck und Temperatur. Brennstoff – Wärme – Kraft 11 (1959), S. 516–517.
- [7] Seibert, O. und Sack, M.: Thermische Diagramme für Speisewasser. Brennstoff – Wärme – Kraft 11 (1959), S. 516–517.
- [8] Schlösser, W.M.J.: Meten aan verdringer-pompen. Dissertation TH Delft (1959).
- [9] Witt, K.: Druckflüssigkeiten und thermodynamisches Messen. Ingenieur Digest Verlag Frankfurt (1974).
- [10] Grigull, U.: Properties of Water and Steam in SI-Units. Dritter Neudruck (1982), Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, R. Oldenbourg, München.
- [11] Pollak, R.: Die thermodynamischen Eigenschaften von Wasser – dargestellt durch eine kanonische Zustandsgleichung für die fluiden homogenen und heterogenen Zustände bis 1200 Kelvin und 3000 bar. Dissertation Univ. Bochum (1974).
- [12] Herbst, G. und Rögener, H.: Eine neue kanonische Zustandsgleichung des Wassers und ihre Anwendung auf das „Thermodynamische Meßverfahren“ bei hydraulischen Kraft- und Arbeitsmaschinen. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 6 (1977), Nr. 50.
- [13] Rögener, H., Herbst, G., Kollien, J.: Thermodynamisches Meßverfahren – Bestimmung des Wirkungsgrades hydraulischer Kraft- und Arbeitsmaschinen nach dem „Thermodynamischen Meßverfahren“ (Rechenprogramme). Brennstoff – Wärme – Kraft 38 (1986), S. 275–281.

116 Bestimmung des Wirkungsgrades hydraulischer Kraft- und Arbeitsmaschinen

- [14] Borel, L. und Lan, N.D.: Equations of state and Joule-Thomson-coefficient. 10th Int. Conf. Prop. Steam, Moscow (1984).
- [15] Haar, L., Gallagher, J.S., Kell, G.S.: NBS/NRC Steam Tables: Thermodynamic and Transport Properties and Computer Programs for Vapor and Liquid States of Water in SI Units. Hemisphere Publ. Corp. (1984).
- [16] Brand, F.L.: Wirkungsgradmessungen nach dem thermodynamischen Verfahren an Pipeline-pumpen. Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie 30 (1977), S. 79–93.
- [17] Witt, H.: Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik „Einführung und Übersicht“. Ölhydraulik und Pneumatik 20 (1976), S. 416–424.
- [18] Rögener, H. und Soll, P.: Beitrag zum Thermodynamischen Meßverfahren – Der isentrope Temperatur-Druck-Koeffizient des Wassers. Brennstoff – Wärme – Kraft 32 (1980), S. 427–478.
- [19] Höfflinger, W.: Thermodynamische Wirkungsgradmessung an hydraulischen Verdränger-maschinen nach dem Drossel-Drucktopf-Verfahren. Ölhydraulik und Pneumatik 20 (1976), S. 426–428.

13.11.1987 in Braunschweig

Kunststoffe im konstruktiven Ingenieurbau

(Zusammenfassung)

Von Ferdinand Stefan Rostásy

Die Kunststoffe stellen die jüngste Werkstoffgruppe im Bauwesen dar. Sie haben sich auf zahlreichen Gebieten einen festen Platz erobert, wobei sie vorrangig für den Bautenschutz angewandt werden. Aber auch im konstruktiven Ingenieurbau werden Kunststoffe zunehmend für folgende Aufgaben verwendet:

- Schützen und Instandsetzen von Betonbauwerken
- Konstruktives Sichern von Betonbauwerken
- Neue Konstruktionstechnologien für den Stahlbeton- und Spannbetonbau

Der vorbeugende Schutz und die Instandsetzung von Betonbauwerken, die durch korrosive Einwirkung geschädigt wurden, sind ein sehr wichtiges Einsatzgebiet geworden, das sich zunehmend ausweitet. Hierzu kommt auch der denkmalpflegerische Bereich, der aber in diesem Referat nicht behandelt wird. Zahlreiche Betonbauwerke weisen, mit steigender Tendenz, Oberflächenschäden auf, die überwiegend durch Korrosion der oberflächennahen Bewehrung verursacht sind. Diese Schäden gehen zurück auf Planungs-, Ausführungs- und Wartungsmängel. Durch Diffusion von Luftkohlenensäure in das poröse Betongefüge erfolgt die Depassivierung der Bewehrung, wodurch bei Existenz der erforderlichen Bedingungen Korrosion einsetzt. Zur Vorbeugung gegen das Eindringen von Luftkohlenensäure, sowie zur Instandsetzung von karbonatisierten und geschädigten Betonoberflächenbereichen werden heute Kunststoffe in Form von Imprägnierungen und Versiegelungen sowie in Form von Instandsetzungssystemen zunehmend angewandt. Im Vortrag werden die Werkstoffe, Applikationstechniken sowie die Probleme derartigen Kunststoffeinsatzes dargestellt.

Bei konstruktiven Sicherungsaufgaben handelt es sich um solche, bei denen Funktion und Tragfähigkeit von Bauteilen wieder instand gesetzt werden. Bauteile, die durch Anprall, Korrosion und durch Brand geschädigt worden sind, können durch Reaktionsharzbetone ergänzt werden. Die Verpressung von Rissen wird nicht nur aus Gründen des Korrosionsschutzes, sondern auch wegen der notwendigen Dichtigkeit von Behältern und unterirdischen Bauwerken angewandt. Die Verstärkung von Massivbauwerken durch angeklebte Stahllaschen gewinnt zunehmend Verbreitung, insbesondere wenn es darum geht, wertvollen Baubestand einer neuartigen Nutzung mit Belastungserhöhung zuzuführen.

Angeregt durch Entwicklungen für die Luft- und Raumfahrt, für den Automobilbau und für die Meerestechnik, werden im Bauwesen zunehmend faserverstärkte Verbundwerkstoffe eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um Stäbe und flächenförmige Lamine aus Kohle-, Glas- und Aramidfasern, die in eine Polymermatrix eingebettet werden. Derartige Verbundwerkstoffe zeichnen sich durch eine sehr hohe Festigkeit

und durch einen exzellenten Korrosionswiderstand aus, so daß deren Anwendung immer dann eingezeigt ist, wenn besonders extreme Korrosionsbedingungen vorliegen. Erste Anwendungen von faserverstärkten Stäben aus Verbundwerkstoffen erfolgten in der Bundesrepublik beim Bau von zwei Spannbetonbrücken im Rheinland, für die am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig in Kooperation mit Industrieunternehmen die Entwicklung der Verankerungselemente der Spannglieder betrieben wurde.

14.2.1987 in Braunschweig

Sibirien – aktuelle wirtschafts- und verkehrsgeographische Probleme sowie ihre möglichen Auswirkungen auf die Bundesrepublik Deutschland

(Zusammenfassung)

Von **Gerhard Oberbeck**

Das Gebiet der Sowjetunion jenseits des Urals ohne Kasachstan und Mittelasien, also Sibirien und Sowjet-Fernost, nimmt eine Fläche von 12,8 Mio. qkm ein. Dieses Areal ist größer als dasjenige des gesamten Europas und entspricht mehr als der Hälfte des sowjetischen Territoriums. Hier leben etwa 25 Mio. Menschen, d.h. nur ein gutes Zehntel der sowjetischen Bevölkerung. Die für die Bewohner nutzbaren Räume sind jedoch recht ungleich verteilt und beschränken sich – abgesehen von einzelnen Siedlungszellen im Norden und Osten der Region – auf eine schmale klimatisch günstige Zone im Südwesten und Süden des Landes. Dem natürlichen Reichtum an Bodenschätzen, an Wasserkraft zur Energieerzeugung sowie an nutzbaren Holzreserven stehen der Menschenmangel und die Härte der Lebensbedingungen gegenüber.

Die historischen Leitlinien der Erschließung des Landes durch die Russen erfolgten von jeher, d.h. nach der Niederringung der Tataren (1582), in ost-westlicher Richtung.

Ziel der zaristischen Herrscher war vor allem eine Intensivierung des Pelzhandels. 1586 wurde die Stadt Tjumen gegründet. Am Irtytsch und Ob entwickelten sich verschiedene Siedlungen, 1620 gelangten die ersten Russen an die Lena. Die ostsibirischen Festungen Bratsk und Angarailim entstanden zwischen 1630 und 1640. In dieser Zeit setzte auch die Kolonisation durch Bauern und Verbannte ein. Bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts behielt Sibirien den Charakter einer überwiegend agrar- und forstwirtschaftlich genutzten Region. Ein Strukturwandel erfolgte erst mit der sowjetischen Wirtschaftsplanung seit 1917. Durch die Industrialisierung des Landes wurden hunderttausende von Menschen dort – zwangsweise oder freiwillig – eingesetzt, wobei die Grundlage dieser Entwicklung die Verkehrserschließung war und ist.

Der Bau der Transsibirischen Eisenbahn wurde 1892 im Westen und im Osten (bei Wladiwostock) gleichzeitig begonnen. 1916 konnte die 7300 km lange Strecke in Betrieb genommen werden. Sie führt durch die klimatischen Gunstgebiete Sibiriens und verbindet die europäischen Landesteile mit den pazifischen der Sowjetunion. Sie befindet sich – nach einer gründlichen Erneuerung – in einem hervorragenden Zustand. Die gesamte Strecke ist bis in den Fernen Osten elektrifiziert; der größte Teil weist nahtlos geschweißte Schienen auf, die auf Betonschwellen ruhen und dadurch ein relativ ruhiges Fahren gewährleisten. Ein Teil der neuen elektrischen Lokomotiven wurde in der Tschechoslowakei gefertigt, während zahlreiche der vierachsigen Personenwagen in der DDR produziert worden sind. Die Durchschnittsgeschwindigkeit der 13 bis 16 Wagen umfassenden Züge beläuft sich auf 50–60 km/h. Ein stärkerer Zugverkehr ist

bisher nur in dem Nahbereich der Ballungszentren zu beobachten, so daß in der Zukunft mit einer zusätzlichen Auslastung – z. B. durch vermehrten Transport von Industriegütern von Japan nach Westeuropa – zu rechnen sein wird. Unter diesem Aspekt, der auch Auswirkungen auf den Schiffsverkehr von den Häfen der Bundesrepublik Deutschland mit dem ostasiatischen Wirtschaftsraum zeitigen wird, ist der Eisenbahnfährdienst von Klaipeda (Memel) nach Mukran auf der Insel Rügen zu sehen. Er wurde am 2. Oktober 1986 eröffnet. Bis 1989/90 sollen sechs Fährschiffe, die alle in Wismar (Mathias-Thesen-Werft) gebaut werden, den Dienst versehen. Die 22.404 BRT großen Schiffe laufen 16 Knoten und vermögen die 506 km lange Strecke in 20 Stunden zurückzulegen. Die Hafenliegezeit beträgt nur 4 Stunden, was letztlich einen lückenlosen Fährdienst gewährleistet. Insgesamt sind die wirtschaftlichen und planerischen Folgen noch nicht abzusehen.

Lit.: Mare Balticum, 1987, Ostseegesellschaft, S. 44–45; Hamburg 1987.

14. 3. 1987 in Braunschweig

**Der Campo Santo Teutonico in Rom –
ein Beitrag zu seiner Geschichte und seiner Bedeutung
für das Deutschtum**

(Zusammenfassung)

Von Joseph König

Der Vortrag ist in der Klasse für Geisteswissenschaften unter Verwendung von 67 Lichtbildern gehalten worden und ist, wie folgt, gegliedert:

1. Schola Francorum, Bruderschaft und Erzbruderschaft
2. Das Priesterkolleg
3. Kirchen und Gottesdienst
4. Frühchristliche Kunstgegenstände im Campo Santo Teutonico
5. Der Friedhof
6. Römisches Institut der Görres-Gesellschaft
7. Zur Geschichte des Campo-Santo-Archivs
8. Schlußwort.

Von einer Drucklegung des Manuskripts wurde abgesehen, da ein Mitarbeiter des Campo Santo Teutonico, der Segretario Dr. Albrecht Weiland, sich mit einer bereits im Druck befindlichen Arbeit aller auf dem Friedhof vorliegenden Grabdenkmäler mit kurzen Biogrammen der auf den Inschriften genannten Personen befaßt. Die bebilderte Arbeit wird in 2 Bänden gedruckt und vermutlich bis zum Ende dieses Jahres vorliegen.

11. 4. 1987 in Braunschweig

Lessings Plautus

Von Gregor Maurach

Als der „junge Gelehrte“ Lessing, der 1741–46 in der Fürstenschule zu Meissen, 1746–48 in Leipzig an der Universität den Plautus kennengelernt hatte, in Berlin mit C. Mylius die „Beyträge zur Historie und Aufnahme des Theaters“ [1] (das erste Heft erschien Ende 1749) begann, glaubte er, das deutsche Theater, und da insbesondere die Komödie bessern und ihr aufhelfen zu können; er glaubte, in den *Captivi* des Plautus ein Modell für die Art von Komödie gefunden zu haben, die ihm vorschwebte: eine Verbindung von Heiterkeit, lautem Lachen und moralischer Besserung der Zuschauer (sagt dort vor 1034 doch der „Schauspieldirektor“, daß dieses Stück die „Guten zu noch Besseren“ mache). Darum bezeichnete Lessing die „Gefangenen“ nicht nur provozierend als „das vortrefflichste Stück, welches jemals auf das Theater gekommen“ [2]. Denn Laster müsse man nicht nur beweinen, sondern auch verlachen (Lachmann-Muncker 4, 68, vgl. schon 33, später dann S. 191), und die „sinnreiche Verspottung der Laster und Ungereimtheiten (ist) die vornehmste Verrichtung der Komödie“.

Lessings Wiederentdeckung und Neubewertung des Plautus – Jahrhunderte lang stand er im tiefen Schatten des Terenz – hat jüngst einen sehr belesenen und urteilsfähigen Verteidiger gefunden: G. Chiarini, *Lessing e Plauto* (Neapel, Liguori), 1983 [3]. C(hiarini) wirft darin der Plautus-Philologie unserer Tage vor, ausschließlich in einer „quasi rabbiosa contrazione, una chiusura premeditata“ befangen zu sein (S. 15), sich immer nur auf das objektiv Beweisbare zurückzuziehen, oder besser: zurückgezogen zu haben; denn in neuester Zeit sei diese Beschränkung „quasi in tutto superata“ (163). Die Philologie eines Ritschl, Leo und Fraenkel überholt? Man wird zunächst einige Bedenken verspüren. Doch zunächst sei kritisch referiert, was C. uns über „Lessing e Plauto“ berichtet.

I.

Treffend beschreibt C., wie Daniel Heinsius [4] für seine und für Lessings Jugendzeit endgültig Plautus auf den zweiten Rang verwiesen zu haben glaubte. Plautus galt ihm als obszön und bar jeglicher Stimmigkeit in Komposition und Charakterzeichnung (S. 28 f.). Doch kann dies nicht als „Kanonisierung“ betrachtet werden: wenn Heinsius um die Mitte des 17. Jahrhunderts Plautus so abwertet, dann steht dem Verdammungsurteil manche lobende Publikation entgegen, man kann an Heupolds „*Plautus Redivivus*“ (1628) denken, und in Altdorf wurde des Caspar Sagittarius „*De Vita Scriptis ... Plauti, Terenti et Ciceronis*“ 1672 gedruckt, wo Plautus keineswegs abgekanzelt wird. Und vor allem: der große J.J. Scaliger selber hat, ebenso wie Camerarius und Turnebus, das harsche Urteil des Horaz über Plautus, das dem Nachruhm des Sarsinaten immer wieder geschadet hat, als ungerecht bezeichnet. Wenn Lessing also Plautus zum Modell

nahm und dem Publikum als trefflichen Komödienschreiber hinstellte, dann war das keineswegs unerhört, keineswegs ein Zerschneiden eines Kanons.

Was war dann das Neue an Lessings „Beytrag“? Zunächst einmal seine Forderung, Zeitumstände und Bedingtheiten eines antiken Autors zu erkennen und zu berücksichtigen. Das ist nach C. 57 der Beginn einer historistischen Betrachtungsweise, die sich von derjenigen fortbewegt, die in den Alten das Vollkommene sehen wollte [5]. Dazu gehört dann auch das Eingeständnis von Fehlerhaftem, wozu Lessing im Falle des Plautus auch bereit war (C., S. 87). Eine solche kritische Haltung verlangt nach Analyse des jeweiligen Textes, und zwar nach einer kritischen; und diese Haltung, die zwar von Zuneigung geprägt ist, aber nicht mit Blindheit geschlagen sein möchte, nähert sich der eines wahren Philologen, der seine Gegenstände zwar liebt, aber dennoch ihre Artung und Eigenarten genau betrachtet. Lessing selber hat diese Weise der *Philo*-Logie praktiziert, wenn er neben Lob und Bewunderung späterhin auch eine Geschichte der Plautus-Editionen vorlegte [6] oder in seinen „Beyträgen“ sich auf das Feld der philologischen Kleinarbeit begab. Lessing näherte sich hiermit einem längst vor ihm formulierten Standpunkt: J. Camerarius hatte Plautus unter drei Aspekten empfohlen, nämlich die Schicksale der Verliebten seien als warnende Beispiele zu betrachten, die Sprache als Muster guten Lateins und d. h.: der Einfachheit und Treffsicherheit des Ausdrucks; zudem habe der Philologe die Aufgabe, den stark zerrütteten Text wiederherzustellen [7]. Diese Verbindung von handwerklicher Kleinarbeit mit literarisch-moralischer Leseweise ist das, was auch Lessing forderte. Seine Weise, Plautus zu lesen und zu verstehen, war also keineswegs so ganz neu. Was war also das Neue? Über Camerarius und alle Späteren hinaus betrachtete der junge Lessing eine Komödie wie die „Gefangenen“ von der Frage nach den Drei Einheiten aus, d. h. er suchte (wie gesagt) nach einem Modell für eine Erneuerung der zeitgenössischen Komödie. Zugespißt gesagt: die „Gefangenen“ als solche interessierten Lessing womöglich weniger als die Möglichkeit, vermittels einer literar-kritischen Analyse ein Modell für eine anti-gottschedische Komödie zu finden, s. C. 137 ff.

Die gottschedische Komödie hatte ja, das bemängelten Lessing wie auch Goethe, das Lachen aus dem Theater verbannt, als sie den Harlekin verstummen ließ (C. 119) [8]. Plautus dagegen lehrte, daß die Laster sowohl zu beweinen als zu belachen sind (Lachmann-Muncker 4, 67 ff.; 6, 33). Damit hatte Lessing sich selber den Weg zu seinen Erfolgen eröffnet [9].

II.

Soweit ein kritisches Referat von Chiarinis wertvoller Darstellung. Doch nun muß danach gefragt werden, ob denn Lessings Haltung gegenüber Plautus wirklich mit dem zuvor schönen, aber doch auch wieder merkwürdigen Ausdruck „umile atteggiamento di disponibilità“ (87) beschreibbar sei. Fassen wir den Stier gleichsam bei den Hörnern: es muß ausgesprochen werden, daß Lessings Haltung die der *Naivität* war, denn selbstverständlich wußte Lessing nicht erst aus der Terenz-Lektüre (Andria 16), daß Plautus doch nur übersetzt, dabei keineswegs von Grund aus seine Vorlagen umgestaltet hatte [10]. Lessing war sich dessen bewußt, daß er es in den „Gefangenen“ also mit einem

nur übertragenen und romanisierten Text zu tun hatte [11], und doch las und pries er „Plautus“ in den „Beyträgen“ so wie ein Schauspieldirektor der Renaissance [12], der einen „Plautus“ auf die Bühne brachte, also naturgemäß unbekümmert um Fragen der Originalität. So zu lesen, hatte eine lange Tradition, denn was bedeutet die Frage, wer von den Komödienverfassern die Palme in Dialog oder Komposition verdient habe [13], anders, als Plautus als Verfasser seiner Stücke ohne jegliche Differenzierung zu verstehen? Man kann das auch ganz anders begreifen: Jahrhunderte lang las man Plautus nicht nur als interessantes philologisches Problem, sondern mit den Augen *auch* des Literaturkritikers. Das bezeugen noch fürs 16. Jahrhundert die Worte des Camerarius. Im 17. Jahrhundert ändert sich dies: hatte Scaliger noch über das Gesamtinstrumentarium des ästhetischen Betrachters wie des Philologen verfügt, so trennen sich im 17. Jahrhundert der handwerkliche Philologe vom Schönheit suchenden und beurteilenden Literaturkritiker. Der Rückzug der Philologie von der Literatur begann [14]. Die Seite des Ästhetischen machten sich die Übersetzer und Dramentheoretiker zu eigen [15]. Wenn man also nach dem Neuen in Lessings „Beyträgen“ fragt, dann wird man einerseits auf die traditionelle Mißachtung von Plautus' nur sekundärer Originalität hinweisen, aber auch feststellen, daß Lessing die auseinandergeratenen Seiten der Philo-Logie, der Liebe zu den Texten, wieder zusammenführt: die ästhetische Diskussion (die „Einheiten“, die Rolle des Gelächters, usw.) und die Realienforschung und Textkritik.

Warum nun diese Verleugnung besseren Wissens, d.h. des Wissens davon, daß Plautus – wenn der Name eine bestimmte Gestalt bezeichnet – nur Übersetzer und Bearbeiter war? Ersichtlich deswegen, weil Lessing nach einem Modell und Muster für die „Aufnahme“ des zeitgenössischen Theaters suchte. Aber ein Modell oder Muster könnte ja im *Ganzen* dem Gedachten und Gewünschten entsprechen, im *Einzelnen* hingegen den einen oder anderen vermeidbaren kleineren Schönheitsfehler aufweisen? Gewiß, Lessing war ja auch bereit, solche Fehler zuzugeben. Doch an dieser Stelle spielte ihm die alte Denkweise des 17. und teilweise des 18. Jahrhunderts gewissermaßen einen Streich: er konnte sich wohl nicht gänzlich von der Idee der Vorbildlichkeit der Antike [16] lösen, und so verstieg er sich – nur zum Teil provokativ – zu dem Urteil, die „Gefangenen“ seien das vortrefflichste Stück, das je auf einer Bühne zu sehen gewesen. Nun war er gezwungen, die Modellfrage mit der Qualitätsfrage zu verquicken; nun war die rein wissenschaftliche, die analytische Frage nach dem Anteil des Römers an den *Captivi* sekundär; vor allem: jetzt mußte Lessing auch noch dartun, daß die „Gefangenen“ ganz besonders gut seien, und dies ließ sich dann nur noch so bewerkstelligen, daß Lessing in seiner eigenen Übersetzung des Stückes möglichst alle (unzweifelhaft vorhandenen) groben Zoten und Dummlichkeiten hinwegeskamotierte.

III.

Fassen wir zusammen: zweifellos stellt Lessings Behandlung des „Plautus“ insofern einen vorbildhaften Musterfall dar, als hier die handwerklich-philologische Art, an ihn heranzugehen, verbunden wurde mit der literar-kritischen, die wagt und will, was der

bloß wissenschaftliche Philologe nicht will und nicht wagt: das ästhetische Urteil, ja von diesem aus das Eingreifen in die zeitgenössische Literaturproduktion. Vergleichbares wird man am ehesten noch bei den großen Bildhauern und Architekten des Cinquecento finden.

Auf der anderen Seite brachte die Verquickung von Modellgedanken und Vorbildsuche, von bloßer Musterhaftigkeit mit dem Triumph, ein Vollkommenes seiner Gattung gefunden zu haben, etwas Zwiespältiges in Lessings Plautus-Bild: weder war es da angebracht, Plautus prononciert als den hinzustellen, der er war: als bearbeitenden Übersetzer, noch durfte Lessing, als er selber sich ans Übersetzen machte, genau übertragen, und zwar genau im Sinne ehrlicher Reproduktion auch von Dummem und Widerlichem.

Diese lessingsche Zwickmühle, diese schwierige Lage bei der Annäherung an das Phänomen „Plautus“, insbesondere die Leugnung der Differenz zwischen primärer Originalität (Menander z.B.) und sekundärer (Plautus, Terenz), sie kann man nun wahrhaftig nicht als Ideal, als die neue „rinnovata disponibilità e ... un piu vivo interesse per l'aspetto specificamente ‚tatrale‘ dell'opera plautina“ (C. 163) anpreisen. Daß der Philologe, bei aller handwerklicher Genauigkeit und wissenschaftlicher Präzision auch Werturteile nicht scheuen sollte, dürfte deutlich sein, obschon man lieber von einer Personalunion von Analytiker und Literarästhet sprechen sollte, da die Ziele dieser Arten der Annäherung an Texte grundverschieden sind. Aber die Ritschlsche, die Leosche, die Fraenkelsche Analyse als „überholt“ zu erklären, kommt der Bankrotterklärung des kritischen Gewissens gleich, und dafür war Lessing nun wahrhaftig kein Beispiel [17].

Literatur

- [1] „Aufnahme“ bedeutet nicht etwa „Rezeption“, sondern „Verbesserung“ und „Erfolg“ (Grimm 1, s. v. 3).
- [2] Sein Urteil verteidigte Lessing etwas später mit guten Gründen (s. die Werk-Ausgabe von Lachmann-Muncker, Bd. 4, 140).
- [3] Der Verfasser ist bekannt u. a. durch sein Buch „La recita: Plauto, la farsa, la festa“, Bologna (Pàtron), 1979.
- [4] Er war der liebste (wenn auch kaum der beste) Schüler Joseph Scaligers; ein hartes Urteil über ihn von U. v. Wilamowitz-Moellendorff in seiner Geschichte der klassischen Philologie (mir nur die engl. Übersetzung zugänglich: *History of Classical Scholarship*, edited with Introd. and Notes by H. Lloyd-Jones, London 1982, 67).
- [5] Hierzu jetzt E.-R. Schwinge, *Goethe und die Poesie der Griechen*, Akad. Mainz, Wiesbaden 1986, 11 ff.
- [6] Lachmann-Muncker 4, 71 ff.; diese Arbeit hat dann F. Ritschl fortgeführt (Über die Kritik des Plautus, *Opusc.* 2, 1868, 34 ff.), Ed. Fraenkel hat einiges hinzugefügt in: F. Leo, *Ausgew. kl. Schriften*, 1, Rom 1960, XXV ff.
- [7] Mir ist (in Wolfenbüttel) nur die Ausgabe Basel 1558 zugänglich gewesen, dort finden sich die referierten Bemerkungen auf S. 26 und 29. Zudem hebt Camerarius die *utilitas salutarium praeceptorum* hervor, den „Nutzen heilsamer Lehren“.
- [8] A. Denecke in: *Das literarische Echo*, Nr. 4, 1912, 1034 f. verweist zu Recht in diesem Zusammenhang auf den Brief Goethes an Salzmann vom 6. 3. 1773: „Unser Theater, seit Hanswurst verbannt ist, hat sich aus dem Gottschedianismus noch nicht losreißen können“, usw.

- [9] C. 145 und 159 deutet dies an; höchst interessant ist in diesem Zusammenhang die Untersuchung von W. Martini in: *Neue Jahrb. für das Altertum, Geschichte und Literatur* 45, 1920, 341 ff., wo auf die lustigen Episoden geachtet wird, die Lessing nach Meinung des Verfassers sich aus der Lektüre antiker Dramen erarbeitet hat.
- [10] Vgl. Terenz, *Adelph.* 6 f.; man sprach damals vom „Kontaminieren“ (Verfälschen) einer Vorlage, vgl. L. Schaaf, *Der Miles Gloriosus des Plautus*, München 1977, 381, A.3 (neueste theoretische Behandlung des Problems).
- [11] Lessing sprach in den „Beyträgen“ von Reaktionen auf Menander: die *Captivi* (ohne jegliche Liebesgeschichte) seien der Versuch gewesen, eine spannende Fabel ohne Erotik zu bieten; Lessing sprach auch davon, daß Plautus manchen dummen Witz anbringen mußte, um seinen Römern zu gefallen, usw.: er wußte sehr wohl um die gleichsam abgeleitete Originalität des Römers.
- [12] Zu den Aufführungen (zuerst 1444 in Ferrara, danach in Rom durch Pomponius Laetus) H. Kindermann, *Theatergeschichte Europas* (basierend z. B. auf W. Creizenachs *Geschichte des neueren Dramas* 2², 1911, 2 ff.). Die eindrucksvollste Aufführung war die auf dem Kapitol 1513 (Frommel-Rey-Tafari, Raffaello Architetto, 1984, 69 und 78 ff.).
- [13] Diese Frage ist schon in der Antike gestellt worden: Varro bei Nonius 596, 5 Lindsay (s. die Ausgabe von Goetz-Schöll 1, 1909, XXX ff. mit allen Zeugnissen dieser Art), vgl. den Autoren-Kanon des Volcacius Sedigitus (*Fragm. Roman. Grammat.* 1, 82 Funaioli): er wollte Plautus als den zweitbesten hinter Caccilius angeordnet wissen (Paulys *Realencyklop.* 9A, 44 ff.).
- [14] Ein so verdienster Plautuskenner wie J.F. Gronov (1611–1671) schrieb in seiner Plautus-Ausgabe vom Jahre 1664, er habe kein besonderes Interesse am Kommentieren gehabt, sein Metier sei die Textkritik (M. Accii Plauti *Comoediae*, Leyden 1664 im Vorwort; er schreibt dann auch vorwiegend Noten anderer ab). Sein Hauptwerk sind die *Observationes*, die jene großen Detailarbeiten des nächsten Jahrhunderts und des neunzehnten vorwegnahmen (Wilamowitz, a. a. O. 72).
- [15] Lessing selber erwähnt hier vornehmlich M. Coste (s. C. 72) und Corneille (C. 49, A. 20).
- [16] Zu R. Bentley in diesem Zusammenhang s. R. Pfeiffer, *Die klassische Philologie von Petrarca bis Mommsen*, München 1982, 192 f. Gesner, Professor zu Göttingen bis 1761, verlangte, „daß der sog. Geschmack formirt und wichtige Begriffe von dem Schönen“ durch das Studium antiker Texte an der Universität erlangt werden“ (U. Muhlack in: *Wissenschaften im Zeitalter der Aufklärung*, Göttingen 1985, 108 f.; zu C. G. Heynes nicht gänzlich verschiedener Haltung ebd. 110). Zur berühmten „Parallèle des Anciens et des Modernes“ des Perault s. jetzt Schwinge 11, Pfeiffer 169.
- [17] Naturgemäß kann diese Auffassung von der Arbeit des Philologen hier nicht substantiiert werden, soviel möge genügen, daß sie natürlich Schichten hat, Schichten der Objektivität: bei der Arbeit des Editors und des Textkritikers dürfen ästhetische Kategorien nur in ganz verzweifelten Fällen eine Rolle spielen; das gleiche gilt vom Metriker oder Kompositionsanalytiker u. dgl. Geht es auf einer sehr viel höheren, daher auch sehr viel subjektiveren Stufe ans sog. Interpretieren, ja gar an die Persönlichkeitsanalyse (man denkt an die modernen Entwicklungshypothesen), dann ist mit dem persönlichen Empfinden auch dem ästhetischen Geschmack die Türe weit geöffnet. Hier die Balance zu halten und die Maßstäbe gerade und konstant zu bewahren, bedarf der Selbstkritik und dessen, was man – so vage es klingen mag – die Kritikfähigkeit nennen könnte, die kein Geringerer als Philipp Lersch zu den Grundfähigkeiten des Geistes zählte, die aber auch unter Philologen nicht immer anzutreffen ist (man denkt z. B. an das böse Wort von der „Lobe-Philologie“, die u. a. Sallust zu einem höheren Rang verholfen hat als ihm zusteht). – Wer ein Muster der hier verteidigten Plautus-Philologie sehen möchte, greife zu E. Woyteks *Persa-Kommentar* (Wien 1982).

14.11.1987 in Braunschweig

Franz Kugler und Jacob Burckhardt

(Zusammenfassung)

Von Peter Ganz

Als Jacob Burckhardt im Herbst 1839 als Student nach Berlin kam, unterrichtete der nur 10 Jahre ältere Kunsthistoriker Franz Kugler schon seit einigen Jahren an der Universität. In Basel hatte Burckhardt von J. F. Röse, der mit Geibel und Kugler befreundet war, gehört. Schon in seinem ersten Berliner Semester besuchte Burckhardt Kuglers große Übersichtsvorlesung über die „Allgemeine Geschichte der Baukunst von den altmexikanischen Denkmälern bis zu Schinkel“. Bald lernte er den Dozenten näher kennen, was er wohl der Vermittlung Röses zu verdanken hatte. Im „Kuglerschen Salon“, wie Theodor Fontane die mehr als einfache Wohnung ironisch nannte, fand sich Burckhardt in einer neuen Welt, in einem wahrhaften „Zauberkreis“. Der gescheite, begeisterungsfähige und doch skeptisch-unabhängige junge Basler muß Kugler sofort gefesselt haben, und er lud Burckhardt auf die vom Arzt verordneten Spaziergänge ein. Diese Bekanntschaft, die sich zur lebenswichtigen Freundschaft entwickeln sollte, empfand Burckhardt als „einen wahren Glücksschuß“, als ein Verhältnis, „wie es selten einem hergelaufenen Studenten zu Theil wird“. Für das von Kugler mitredigierte Kunstblatt schrieb Burckhardt noch als Berliner Student einen ausführlichen „Bericht über die Kunstausstellung zu Berlin im Herbst 1842“, der im „Cottaschen Morgenblatt für gebildete Stände“ in Fortsetzungen erschien. Um Burckhardt eine Verdienstmöglichkeit zu schaffen, empfahl er ihn dem Verlag F. A. Brockhaus als Mitarbeiter an der 9. Auflage des Konversationslexikons. In einer ersten Eingabe vom 28. September 1844 bittet Kugler um eine feste Stelle im Ministerium bei Minister von Eichhorn, in der zweiten Eingabe vom 30. März 1846 um „eine feste amtliche Stelle“ für seinen früheren Schüler Burckhardt. Als Nachfolger und Fortsetzer der eignen Arbeit – so sah Kugler seinen Freund, noch bevor dessen „Zeit Constantins des Großen“ oder der „Cicerone“ erschienen waren. Nach dem 30. September 1847 – Burckhardts Abreise nach Italien – sah er Kugler, der 1858 überraschend starb, nie wieder. Er widmete dem „liebsten Freund“ den „Cicerone“. Im ganzen waren die Berliner Monate eine schwere Zeit für Burckhardt, so daß er im Bezug auf die Arbeit an den Handbüchern von Galeeren- und Höllenarbeit sprach. Für das „Handbuch der Kunstgeschichte“ lieferte Burckhardt im wesentlichen die „Zusätze“, während seine eigne Leistung in der Neufassung der „Geschichte der Malerei“ bestand, aus deren ursprünglich 722 Seiten ein „vermehrtes Werk“ mit 1252 Seiten geworden war. Im Bezug auf den Leser änderte sich damit das Ideal aufgrund des Verhältnisses von Kultur- und Kunstgeschichte, das jetzt thematisch wird. Daran manifestiert sich der Unterschied in der anschaulichen Methode Kuglers zu Burckhardts theoretischer. Als am 18. Februar 1848 eine weitere Vertröstung auf eine feste Stelle in Berlin von Kugler eintrifft, entscheidet sich Burckhardt für eine Stelle am Basler Pädagogium. Damit trat er endgültig aus dem „Zauberkreis“ Kuglers heraus.

12.12.1987 in Braunschweig

Rom September 1943 – Geschichte eines Waffenstillstandes

(Zusammenfassung)

Von Edgar R. Rosen

Thema des Vortrags – in *schriftlicher* Form Teil des zweiten Kapitels eines entstehenden Buches – waren die von der italienischen Seite während der Weltkriegsjahre 1942 und 1943 ausgehenden geheimen Bemühungen, mit den Alliierten, doch anfangs praktisch mit der britischen Regierung, wegen einer Einstellung der Feindseligkeiten ins Gespräch zu kommen. (Infolge der Länge der gesamten Darstellung kam es zu einer Zweiteilung – der abschließende Vortrag wurde Anfang 1988 gehalten –, so daß die eigentlichen Waffenstillstandsverhandlungen auf dem bereits von den Alliierten eroberten Sizilien von Mitte August bis Anfang September, die Bekanntgabe des Abkommens am 8. September, die Überraschung der irrtümlicherweise einen späteren Verkündungstermin erwartenden Italiener, die sofort einsetzenden deutschen Angriffe, der Zusammenbruch Italiens sowie die Aufgabe Roms durch Ministerpräsident Marshall Badoglio, die königliche Familie, die Mehrzahl der Generalstäbe und zwei der militärischen Minister, die alle das süditalienische Brindisi erreichten, erst im abschließenden Vortrag behandelt wurden.) Diese Versuche gingen sowohl von Mitgliedern des Königshauses wie auch von dem seit mehreren Jahren durch Mussolini kaltgestellten früheren Generalstabschef Badoglio aus. Obwohl London sich durch *Mittelsmänner* in Kontakte einließ, führten diese aus einer Vielzahl von Gründen zu keinem Ergebnis. Erst mehrere Tage nach dem am 25. Juli erfolgten Sturz des faschistischen Regimes entschloß sich König Viktor Emanuel III., an die Alliierten heranzutreten. Die von der mutigen Kronprinzessin Maria José angebahnten Kontakte mit London, wie auch in Lissabon und Tanger eingeleiteten offiziellen italienischen Annäherungsversuche zeigten jedoch sehr bald, daß die Monate zuvor in Casablanca proklamierte allierte Forderung der bedingungslosen Kapitulation unverändert aufrecht erhalten wurde. Indessen bestanden Anzeichen dafür, daß man, wenn überhaupt, ernsthaft allein in einem militärischen Rahmen Gespräche führen würde. Zu diesem Zweck wurde der jüngste General der italienischen Armee, Giuseppe Castellano, engster Mitarbeiter des Oberkommandierenden der Streitkräfte, Generalstabschef Vittorio Ambrosio von der Regierung Mitte August unter falschem Namen nach Madrid entsandt, wo es ihm durch Zufall gelang, den britischen Botschafter Sir Samuel Hoare zu sprechen, der wiederum durch den Tenor seines sofortigen Berichts über die Unterredung die in jenen Tagen im kanadischen Quebec versammelten alliierten Staats- und Regierungschefs Roosevelt und Churchill bewog, Castellanos Ersuchen um eine Zusammenkunft mit Vertretern des alliierten Oberkommandierenden in Nordafrika, General Eisenhower zu entsprechen. So kam es, daß Eisenhowers Stabschef, der amerikanische General Walter Bedell Smith, begleitet durch den Leiter von Eisenhowers Nachrichtendiensten, den britischen General Kenneth Strong, und Castellano in der Nacht vom 19. zum

20. August in der britischen Gesandtschaft in Lissabon zusammenkamen. Castellanos Angebot eines Überwechselns Italiens zu den Alliierten zur Bekämpfung der bereits in erheblicher Stärke in das noch immer „verbündete“ Italien eingedrungenen deutschen Streitkräfte fand bei den alliierten Generälen kein Echo. Die von Smith mit äußerstem Geschick geführte Unterredung eröffnete jedoch Italien durch das Quebec-Memorandum Roosevelts und Churchills die Möglichkeit einer Milderung der alliierten Bedingungen je nach dem Ausmaß einer Unterstützung der Vereinten Nationen durch die Regierung Badoglio und das italienische Volk. Während der stundenlangen Verhandlung entstand allmählich eine freundliche Atmosphäre, und man kam sich soweit näher, daß Castellano zur umgehenden Berichterstattung nach Rom zurückkehren und im Fall einer positiven Entscheidung am 31. August zum Abschluß der Verhandlungen mit einer italienischen Militärmaschine nach Sizilien kommen sollte. Eine Verkettung widriger Umstände war dafür verantwortlich, daß Castellano erst am 27. August in der italienischen Hauptstadt eintraf. Dennoch war mit der als Folge seines Berichts getroffenen positiven Entscheidung des Königs und Badoglios für weitere Gespräche mit den Alliierten die Grundlage für den Abschluß des Waffenstillstands am 3. September 1943 geschaffen.

Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte

Vom 25. bis 28. September 1987 fand im Institut für Kunstgeschichte der Universität Kopenhagen ein Symposium statt zum Thema

„Romanesque art in Scandinavia and its relation to the continent“.

Bericht von **Hans Reuther**, Hann. Münden, und **Martin Gosebruch**, Braunschweig

Die von Professor Teddy Brunius und Søren Kaspersen sorgfältig vorbereitete wissenschaftliche Tagung war von Exkursionen nach dem dänischen West-Seeland und der bis 1658 zu Dänemark gehörigen schwedischen Landschaft Schonen (Skåne) begleitet. Im Mittelpunkt der Architekturbetrachtung stand die Kathedrale zu Lund, die von Erich Cinthio vorgestellt wurde; dabei wurden Vergleiche zu Speyer und Mainz lebendig sowie die Ergebnisse der 1860 abgeschlossenen gründlichen Restaurierung von Helgo Zetervall und der jüngsten Innenrestaurierung von Eiler Graebe aus den Jahren 1953–1964 berücksichtigt. Ferner wurden die zahlreichen Spolien im dortigen Historischen Museum, vor allem der großen archäologischen Sammlung der Bauplastik aus der ganzen Landschaft Schonen, einbezogen.

Die derzeit in Restaurierung befindliche und daher von ihrem Innenputz befreite ehemalige Bischofskirche zu Dalby, wohl die älteste um 1060 gegründete größere Steinkirche Schwedens, erinnert an die architektonische Gestaltung des Domes zu Hildesheim (in die Wände eingestellte Säulen). Hans Emil Lidén (Bergen) zeigte Beziehungen der Bauplastik von Lund zu Speyer und Mainz sowie direkte rheinisch-lombardische Einflüsse auf Kirchen des 12. Jahrhunderts in Bergen (Norwegen) auf.

Topographisch zusammenfassend war die Darstellung der Geschichte der Bauernkirchen des 12. Jahrhunderts in den nordischen Ländern (Rudolf Zeitler/Uppsala) und der Veränderung der Ostung romanischer Kirchen im Laufe der Bauentwicklung (Teddy Brunius/Kopenhagen). Die Ausstrahlung bestimmter Gewölbeformen Westfalens und Niedersachsens in den Ostseeraum zeigte Hans Reuther (Hann. Münden) an Hand der auf der Insel Gotland vertretenen Sonderformen des Domikalgewölbes auf.

Eine Präsentation der neu aufgestellten mittelalterlichen Plastik des Kopenhagener Nationalmuseums erfolgte durch Fritze Lindhal und Niels-Knud Liebgott. Erik Pedersen zeigte im Hinblick auf die zu betrachtenden Werke der Wandmalerei ausgewählte illuminierte Handschriften in der Königlichen Bibliothek. Regine Marth (West-Berlin) erörterte die umfangreiche Gruppe der „Schonen-Kreuze“. Die Stilmerkmale und ikonographischen Grundlagen der mittelalterlichen Wandmalereien behandelte in weitgefächertem Vortrag Søren Kaspersen (Kopenhagen), wobei die Werke des Meisters der Marienkirche zu Vä in Schonen nach der Mitte des 12. Jahrhunderts im Zentrum standen. Am Meister von Vä wird die Beeinflussung durch die Helmarshäuser

Schule faßbar, wozu sich Kaspersen auf dem Symposium „Helmarshausen und das Evangeliar Heinrichs des Löwen“ 1985 in Braunschweig bereits geäußert hatte. In der Reihe der von der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft veranstalteten kunsthistorischen Symposien war dieses das dritte gewesen. Auf diese Reihe hatte der Organisator der Kopenhagener Tagung, Professor Brunius, zu Beginn ausdrücklich hingewiesen. Der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehört er an. Empfindet er jetzt die Kopenhagener Tagung im Kontinuum mit den drei Braunschweigern, so bestätigt das die Intention, die mit der Einrichtung der genannten Kommission gemeint war und zu der die Stärkung des Gesprächs mit den skandinavischen Freunden besonders zählt (Zu den Aktivitäten der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte siehe neuerdings V.E. Elbern in: *L'arte medievale* II. Serie Anno II, n. 1, 1988, S. 187 bis 191).

Kommission für Technik und Umwelt

Im Berichtszeitraum 1987 wurden von der Klasse für Ingenieurwissenschaften zwei Sondersitzungen abgehalten, auf denen jeweils mehrere im Zusammenhang stehende Themen vorgetragen und diskutiert wurden. Die ausgewählten Beiträge bezogen sich ausschließlich auf umweltrelevante Fragestellungen, weil mit diesen beiden Sondersitzungen gleichzeitig die Arbeit der Kommission für Technik und Umwelt dokumentiert werden sollte. Um eine vertiefte wissenschaftliche Diskussion zwischen den Mitgliedern der Klasse für Ingenieurwissenschaften zu ermöglichen, wurden diese Sitzungen in Instituten von Klassenmitgliedern durchgeführt, da auf diese Weise Vorträge und Diskussionen durch Besichtigungen der entsprechenden Versuchseinrichtungen ergänzt werden konnten. Die erste dieser beiden Sitzungen wurde am 16. Mai 1987 am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik der Technischen Universität Clausthal und die zweite Sitzung am 12. Dezember 1987 am Institut für Kolbenmaschinen der Universität Hannover abgehalten. Mit der Veranstaltung in Clausthal wurde der Klasse mit einem Übersichtsvortrag und zwei speziellen Beiträgen der Forschungsverbund Umwelttechnik der Technischen Universität Clausthal vorgestellt, während im Rahmen der Veranstaltung in Hannover ausschließlich Themen des dortigen Institutes für Kolbenmaschinen zur Diskussion standen. Kurzfassungen von den sechs Vorträgen dieser beiden Vortragsgruppen werden im folgenden wiedergegeben.

Der Forschungsverbund Umwelttechnik der TU Clausthal

Univ.Prof. Dr.-Ing. Kurt Leschonski

Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Umweltverfahrenstechnik,
Technische Universität Clausthal

1. Einführung

Aus den Rohstoffen dieser Erde werden vor allem durch Verfahren und Methoden der Stoff- und Energieumwandlung Produkte des menschlichen Bedarfs, d.h. Konsumgüter aller Art, hergestellt.

Bei den Verfahren der physikalischen und chemischen Stoffumwandlung werden beispielsweise aus natürlichen Rohstoffen neue Produkte mit anderen physikalischen bzw. chemischen Eigenschaften erzeugt (vgl. Abb. 1):

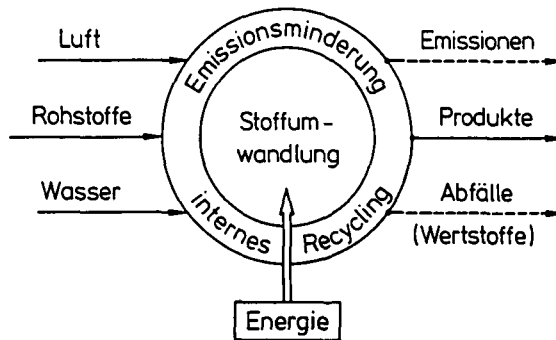


Abb. 1: Stoffumwandlung

Aus Gründen der Prozeßführung benötigen viele dieser Verfahren eine meist beachtliche Menge an Luft oder Wasser sowie darüber hinaus vielfach auch eine beträchtliche Menge an Energie. Im Verlauf des Stoffumwandlungsprozesses fällt bei grobdispersen Stoffen das Endprodukt meist in einem Gas- oder Flüssigkeitsstrom an, so daß die disperse, d.h. partikuläre Phase von der kontinuierlichen Phase durch einen geeigneten Trennapparat zu entfernen ist. Im molekulardispersen Bereich ist die Situation vergleichbar, die Methoden der Phasentrennung unterscheiden sich jedoch wesentlich von denen für grobdisperse Partikel.

Das angestrebte Ziel einer hundertprozentigen Phasentrennung läßt sich aus vielerlei Gründen, die sich von Aufgabenstellung zu Aufgabenstellung unterscheiden, zum gegenwärtigen Zeitpunkt leider noch nicht erreichen, so daß bei jeder Stoff- und Energieumwandlung neben dem erwünschten Produkt auch Schadstoffe oder Abfälle ent-

stehen, die entweder direkt in der Produktionsstätte als Abfälle anfallen oder als Emissionen in die Umgebung abgegeben werden.

Es sind im wesentlichen drei Aufgabenbereiche, der sich die gegenwärtige und zukünftige Hochschul- und Industrieforschung noch stärker widmen muß als bisher. Diese sind:

- a) *die Minderung von Schadstoffemissionen und Abfällen,*
- b) *die umfassendere Verwertung von Wertstoffen aus Abfällen,*
- c) *die risikolosere Deponie von nicht verwertbaren Abfällen.*

Bei einer vereinfachten Darstellung der damit verbundenen Aufgabenstellungen kann man folgende Grobstruktur verwenden, der auch die Clausthaller Umweltforschung folgt:

1) primäre Minderung von Schadstoffemissionen und Abfällen:

Dabei ist man bemüht, die Prozesse der Stoff- bzw. Energieumwandlung so zu verändern, zu verbessern, und zu optimieren, daß, bei einem Endprodukt mindestens gleicher Qualität, weniger, bzw. nach Möglichkeit keine Schadstoffe sowie Abfälle entstehen oder an nachgeschaltete Entsorgungseinrichtungen abgegeben werden. Diese Aufgabe läßt sich, wenn überhaupt, meist nur durch prozeßintegrierte Maßnahmen, z. B. durch eine andere Prozeßführung, durch Verwendung anderer Rohstoffe oder durch ein möglichst umfassendes, internes Recycling von Schadstoffen und Abfällen erzielen. Die *prozeßintegrierte Entsorgung* verlangt deshalb Änderungen am Stoff- und Energieumwandlungsprozeß selbst. Sie läßt sich nur verwirklichen, wenn das Verständnis der physikalischen und chemischen Grundprozesse soweit vorgeschritten ist, daß korrigierende Eingriffe und unter Umständen völlig neue Wege zum gleichen, oder einem verbesserten Endprodukt führen. Diese Aufgabenstellung erfordert unter anderem auch die grundlagenorientierte Erforschung von Einzelphänomenen verfahrenstechnischer Prozesse, die auf den ersten Blick keine oder nur geringe Umweltrelevanz besitzen.

2) sekundäre Minderung von Schadstoffemissionen und Abfällen:

Unabhängig von der durch prozeßintegrierte Entsorgung erreichten Emissionsminderung lassen sich Schadstoffe und Abfälle nicht völlig vermeiden. Diese Schadstoffe fallen meist in Gas- oder Flüssigkeitsströmen an, die nur zum Teil in den Prozeß zurückgeführt werden können. Die im molekular- bzw. grobdispersen Bereich der Partikelgrößen anfallenden Schadstoffe müssen deshalb aus den in die Umgebung abgegebenen Luft- und Wasserströmen möglichst quantitativ, d. h. vollständig entfernt werden. Die zur Abscheidung, d. h. Phasentrennung von molekular-, bzw. grobdispersen Partikeln verwendeten Trennapparate sind deshalb weiter zu verbessern, bzw. diese sind unter Bedingungen zu betreiben, die eine bessere Trennung der Phasen und damit eine Minderung der Schadstoffemissionen ermöglichen. Es ist zu beachten, daß dieser Wunsch nach besserer Abscheidung in den meisten Fällen mit einem höheren, physikalisch begründeten und unvermeidbaren Energieverbrauch verbunden ist, so daß eine aus ökologischen Gründen noch

zumutbare Schadstoffemission vielfach mit einer aus wirtschaftlichen Gründen noch vertretbaren Leistungsaufnahme im Wettbewerb steht. Viele technische Lösungen umweltrelevanter Fragestellungen sind deshalb Optimierungsprobleme, deren Randbedingungen für den planenden und ausführenden Ingenieur weder einfach zu definieren noch festzulegen sind.

3) Verwertung von Wertstoffen aus Abfällen, Minderung des Deponievolumens:

Bei vielen Prozessen der Stoff- und Energieumwandlung lassen sich Abfälle nicht vermeiden. Die meisten der in einem Produktionsprozeß anfallenden Abfälle bestehen aus Wertstoffen, die erneut als Rohmaterial in die Produktion eingebracht werden. Diese Rückführung wird in der Industrie schon aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, wo immer möglich, praktiziert. Man versucht weiterhin, die bei der Produkterzeugung anfallenden, nicht zurückführbaren Abfälle zu minimieren, bzw. deren Sammlung und Entsorgung zu gewährleisten. Ein sehr viel größeres Abfallvolumen fällt jedoch, z.B. als Hausmüll und als Schrott unterschiedlichster Art an. Dieser Abfall besteht meist aus einem Gemisch unterschiedlichster Wertstoffe, die vielfach zusammen mit organischen Verunreinigungen vorkommen. Erst die Trennung, d.h. die Sortierung dieser Gemische in ihre Wertstoffkomponenten führt zu einer sich anschließenden, wirtschaftlichen Wieder-, bzw. Weiterverwertung. Der wirtschaftliche Wert des aus einem derartigen Recyclingprozeß gewonnenen, weitgehend reinen Produktes, hängt von dem Gehalt und der Art eventuell noch vorhandener Restverunreinigungen ab. Ein Beispiel ist der Shredderschrott von Automobilen, der aus Stahl, verschiedenen Nichteisenmetallen und allen anderen bei der Herstellung von Automobilen verwendeten Stoffen besteht. Darüber hinaus fallen jedoch auch bei Maßnahmen zur Minderung von Schadstoffemissionen Abfälle an. Ein Beispiel ist die Erzeugung von Rauchgasgipsen bei Prozessen der Energieumwandlung. Diese Abfallstoffe sind ebenfalls vielfach Wertstoffe, die natürlich vorkommende Rohstoffe ersetzen können. Sie weisen aber meist infolge von Verunreinigungen einen geringeren Wert als das Naturprodukt auf. Der Entfernung dieser Verunreinigungen kommt für die wirtschaftliche Nutzung derartiger Abfallprodukte eine hohe Bedeutung zu.

4) Deponie nicht verwertbarer Abfälle:

Nur mit unverhältnismäßig großen Kosten aufbereitbare Abfälle aus Verwertungsprozessen oder nicht rückführbare Abfälle der Stoff- und Energieumwandlung müssen an einem sicheren Ort deponiert bzw. abgelagert werden. Stoffe und Stoffgemische, die sich zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt entweder mit nicht vertretbaren Kosten einer Verwertung zuführen lassen oder aber, für die noch keine physikalischen bzw. chemischen Verfahren der Verwertung bekannt, entwickelt oder erprobt sind, sollten ohne Schädigung der Umwelt, d.h. ohne oder mit vernachlässigbaren Emissionen an einen sicheren ober- oder unterirdischen Ort verbracht und dort gelagert werden. Neben Fragen der gesicherten Deponieanlage sind insbesondere Fragen der Durchlässigkeit von Böden, d.h. der Migration oder des Transports von Flüssigkeit durch poröse Schichten von Interesse.

5) **Schadstoffanalytik, Abfallanalytik:**

In den genannten Gruppen sind Schadstoffemissionen nur erkennbar, wenn sie durch eine geeignete Analytik auch meßbar geworden sind. Der Trend zum Nachweis immer kleinerer Schadstoffemissionen und deren möglichst automatische, prozeßbegleitende Messung führt deshalb heute vor allem zur Entwicklung neuer, meßtechnischer Verfahren und Geräte, sowie deren Anwendung auf traditionelle oder neue Meßgebiete.

2. Forschungsthemen der CUTEK

Es sind im wesentlichen diese fünf übergeordneten Arbeitsgebiete, die die Clausthaler Umweltforschung bisher beschäftigt haben und voraussichtlich auch in Zukunft beschäftigen werden. Fragen der Immissionen von Schadstoffen, Ursachen des Waldsterbens usw. stehen, begründet durch die vorhandenen Arbeitsgebiete der Institute, nicht im Vordergrund unserer umweltrelevanten Forschung. Die in Clausthal in Bearbeitung befindlichen Vorhaben haben im Sommersemester 1986 dazu geführt, daß sich 64 von 104 Hochschullehrern zu einer Arbeitsgruppe:

„Forschungsverbund Umwelttechnik der TU Clausthal, kurz CUTEK“ genannt, zusammengeschlossen haben.

Die Präambel der Ordnung der Arbeitsgruppe führt unter anderem aus, daß im Vordergrund der Forschungsaktivitäten, entsprechend der bevorzugt naturwissenschaftlich-ingenieurwissenschaftlichen Ausrichtung der Clausthaler Institute, fast immer die Minderung von Emissionen und die Minderung, Verwertung und Ablagerung von Abfällen und Sekundärrohstoffen, sowie die Anwendung und Entwicklung prozeßrelevanter Meßtechnik steht.

Gemäß dem bereits vorliegenden 1. Band „Forschungsthemen“, der einen Abriß der derzeitigen und teilweise auch der geplanten Clausthaler Umweltforschung gibt, wurden diese Themen zu insgesamt 14 Schwerpunkten zusammengefaßt, auf die im folgenden kurz, in geänderter Reihenfolge und aus Zeitgründen auch nur zum Teil eingegangen wird.

Die nachstehend angegebenen Forschungsschwerpunkte der CUTEK:

- *umweltverträgliche verfahrenstechnische und metallurgische Prozeßtechnik zur Minderung von Emissionen,*
- *umweltverträgliche Verbrennung von schadstoffbelasteten Brennstoffen,*
- *schadstoffarme Verbrennung in Kraftfahrzeugmotoren,*
- *Luft- und Wasserreinhaltung,*

umfassen eine breite Palette von speziellen Anwendungsgebieten, bei denen gasförmige Emissionen aus sehr unterschiedlichen Verbrennungsprozessen, wie sie z.B. bei der Energieumwandlung oder bei Antriebsmotoren von Kraftfahrzeugen auftreten,

vermindert werden sollen. Dementsprechend finden sich Arbeiten zur Stickoxid- und Schwefeldioxid-Minderung aus Abgasen, wie sie beispielsweise,

- bei der Beheizung von Industrieöfen und bei anderen Produktions- und Feuerungsprozessen,
- bei der Verbrennung von schwersiedenden Erdölfraktionen und Erdölrückständen,
- sowie beim Abbrennen des Rußes von Dieselmotoren

auftreten, im Katalog der Forschungsthemen. Andere Arbeiten betreffen:

- die Entschwefelung von Rauchgas der Kohlevergasung in einer heißen Schlackenschmelze,
- die Stickoxid- und Schwefeldioxid-Minderung von Rauchgasen mittels eines verbesserten Aktiv-Kokses,
- die Analyse von Kohlenmonoxid-, Kohlendioxid- und Stickoxid-Emissionen aus Ottomotoren usw.

Wieder andere Arbeiten betreffen:

- die katalytische Nachbehandlung der Abgase von Ottomotoren, sowie
- die Entstehung von Formaldehyd und seine Vermeidung in den Abgasen von Alkoholmotoren.

Diese der Luftreinhaltung zuzuordnenden Untersuchungen ergänzen andere Forschungsarbeiten, die sich insbesondere mit der Reduzierung der Emission fester, bzw. flüssiger, partikelförmiger Verunreinigungen beschäftigen. Sie betreffen die Entwicklung neuer, bzw. die grundlegende Untersuchung bekannter Trennverfahren. Sie beinhalten deshalb auch die Ermittlung von Partikelbahnkurven als Basistheorie der Entstauber, und sie umfassen die für diese Berechnungen erforderlichen Grundlagen.

Dem Clausthaler Forschungsangebot im Bereich der Erdölforschung entsprechend, wird, z. B. an der chemischen Abtrennung von Metallverbindungen aus Erdöl, insbesondere von Vanadiumverbindungen gearbeitet. Ein anderes Forschungsthema, aus dem Bereich des Recycling, behandelt die Regeneration von gebrauchten Schmierölen im Hinblick auf eine Minderung der Konzentration von Chlorverbindungen, insbesondere von polychloriertem Biphenylen (PCB).

Der Bereich der Wasserreinhaltung beinhaltet Arbeiten zur Phasentrennung von Erdöl/Wasser-Emulsionen durch Flotation bei der Entölung von ölverschmutzten Sanden, sowie Arbeiten aus der Bioverfahrenstechnik. Dabei wird z. B. die biologische Reinigung von kommunalen und industriellen Abwässern in einem speziellen, in Clausthal entwickelten Bioreaktor untersucht. Weitere Arbeiten betreffen die Abtrennung von Bakterien von gereinigtem Abwasser.

Einen breiten Raum der Clausthaler Umweltforschung nehmen die Forschungsschwerpunkte:

- *Recycling, d. h. die Verwertung von Wertstoffen aus Sekundärrohstoffen und Abfällen,*
- *Minderung des Deponievolumens,*

- *Ablagerung von toxischen und radioaktiven Abfällen in Untergrunddeponien und Deponien, sowie der*
- *Bodenschutz, und die Grundwasser und Altlastsanieierung*

ein. Die im Bereich des Recycling durchgeführten Arbeiten betreffen unter anderem spezielle, in Clausthal entwickelte Sortiervverfahren zur Gewinnung von dispersen, d. h. partikelförmigen Wertstoffen aus Abfällen, wie beispielsweise aus Hausmüll, aus zerkleinerten PkWs, Altreifen, Kabelschrott, Kunststoffmischungen usw. Auch das Recycling von hochwertigen und seltenen reinen Metallen sowie von Produktionsschrott wird bearbeitet. Einen ähnlich breiten Raum nehmen Forschungsvorhaben ein, die sich mit der Wiederverwertung von Gesteinsabfallmehlen, Flugaschen und Rauchgasgipsen befassen.

Weitere Arbeiten betreffen die Wiedergewinnung von Aluminium und von Buntmetallen aus Schlacken und Räumaschen.

Um die bei der Gewinnung von Steinkohle und von Erzen zu Tage geförderten Berge wiederzuverwenden und die damit verbundenen Halden sowie spätere Bergschäden zu vermeiden, wird der Versatz dieser Berge nach Zugabe von Bindemitteln, wie Zement, zu deren Verfestigung untersucht.

Die Fachbereiche Geowissenschaften, sowie Bergbau und Rohstoffe beschäftigen sich schon seit vielen Jahren mit dem Problemkreis der Deponien und damit verbundenen Fragestellungen. Insbesondere den Problemen bei der Herstellung und dem Betrieb von kammerartigen Großräumen in Salzstöcken sind einige Forschungsthemen gewidmet. Stellvertretend seien genannt:

- die Studie der verfahrenstechnischen Zusammenhänge bei der bergmännischen Herstellung von kammerartigen Großräumen in Salinen;
- Drucktests zur Untersuchung der Dichtigkeit des Mantels von unterirdischen Kavernen;
- das Festigkeits- und Fließverhalten von Steinsalzproben aus Salzstöcken;
- das Fließverhalten von Salz- und Sedimentgestein unter veränderlichen Spannungen und Temperaturen;
- die Untersuchung der Spurenelementgehalte in Salzen mit besonderer Berücksichtigung der Endlagerhorizonte, oder
- Deformationsmessungen und -analysen zur Beurteilung der mechanischen Beanspruchung der Barriere Gebirge im Falle eines Endlagerbergwerkes.

Weitere Arbeiten betreffen die Dichtigkeit des Mantels unterirdischer Kavernen, den Feuchtigkeitstransport in geringpermeablen Schichten, die Wechselwirkung zwischen migrierenden Fluiden und porösen Gesteinskörpern, die Filtervorgänge bei Flüssigkeitsbewegungen im Porenraum von Fest- und Lockergesteinen und der künstlich forcierten Bildung von Grundwasser für Wasserreservoir.

Zwei weitere Forschungsschwerpunkte umfassen:

- *die umweltrelevante physikalische und chemische Analyse und Analysenverfahren, sowie*

- *die Minderung, Erfassung und Meßtechnik von Lärmemissionen.*

Die Analysenverfahren betreffen Erzanalysen zur Typisierung lateritischer Erze, zur kontinuierlichen Messung von Aldehydemissionen und zur kontinuierlichen Probenahme und Messung von dispersen Schadstoffen bzw. Abfällen. Der oft als störend empfundene Lärm und seine Messung sind Gegenstand weiterer Arbeiten.

Die Forschungsthemen:

- *umweltverträgliche Verfahren der Rohstoffgewinnung, -verarbeitung und -veredelung,*
- *Umweltschutz-Kostenrechnungen,*
- *umweltverträgliche Stoffe und Werkstoffe,*
- *Energieeinsparung, Nutzung von Abfallenergieträgern, sonstige Energien,*
- *Pyrolyse, und*
- *Immissionsschadensforschung,*

umfassen etwa ein Viertel aller Forschungsthemen.

Im erstgenannten Bereich stehen die Synthese, die Eigenschaften und die Abtrennung von Schwefel, der in Form von anellierten Thiophenen im Erdöl vorkommt, sowie die Möglichkeit der Entfernung von Schwefel aus Kohle im Vordergrund.

Im Forschungsschwerpunkt „umweltverträgliche Stoffe und Werkstoffe“ wird beispielsweise die wirtschaftliche Erzeugung von Methyltertiärbutyläther als Ersatz für Bleitetraethyl als Antiklopfmittel in Kraftstoffen, und der Ersatz von radioaktivem Thorium in hochwarmfesten Magnesiumlegierungen bearbeitet. Bei der Lagerung von in Glas eingeschmolzenen radioaktiven Abfällen in Steinsalz müssen Behälter verwendet werden, die gegenüber heißen konzentrierten Salzlösungen beständig sind. Während ein Forschungsthema die Korrosionskinetik von niedrig legierten Stählen und von nickelhaltigen Gußstählen betrifft, die als Behältermaterial verwendet werden, wird in einer anderen Arbeit mit elektrochemischen Methoden das Korrosionsverhalten dieser Behälterwerkstoffe auf Eisen-, Nickel- und Titanbasis untersucht. Um den Einsatz von Asbest in Asbestzement zu vermeiden wurde ein Faserzement entwickelt, bei dem die Asbestbewehrung entweder durch kunstharzbeschichtetes Glasfasergittergewebe oder durch Holzspäne bzw. Zellulosefasern ersetzt wurde.

Im letzten größeren Forschungsschwerpunkt wurden solche Forschungsthemen zusammengefaßt, die sich im weitesten Sinne mit Methoden der Energieeinsparung und der Nutzung von Abfallenergieträgern auseinandersetzen. So sollen unter anderem sogenannte thermoelektrische Materialien verbessert werden, um die Nutzung industrieller Abwärme zu verbessern. Weitere Arbeiten betreffen:

- *die Untersuchung einer bivalenten, mit einem Gasmotor betriebenen Luft-Wasser-Wärmepumpe,*
- *die Betriebsoptimierung einer Müllpyrolyseanlage,*
- *die pyrolytische Entsorgung von Siedlungsabfall, Sonderabfall und Klärschlamm, sowie*

- die Nutzung von pflanzlichen Rohstoffen zur Holzkohleproduktion im Sudan am Beispiel von Wasserhyazinthe und von Baumwollstrüngen.

Im Bereich der Immissionsschadensforschung sollten die Clausthaler sicherlich bestrebt sein, durch weitere Arbeiten auf sich aufmerksam zu machen. Zur Ehrenrettung können wir jedoch ein Forschungsthema, das sich mit der Untersuchung der Korrosion historischer Gläser in industriell belasteten Atmosphären beschäftigt, vorweisen.

3. Schluß

Wir haben die Arbeitsgruppe mit dem Ziel gegründet, um unter anderem die fachliche Zusammenarbeit zwischen den Professoren und den Wissenschaftlern der Institute der Technischen Universität Clausthal zu verbessern und den interdisziplinären Gedankenaustausch in den überaus komplexen, wissenschaftlichen Fragestellungen der Umwelttechnik zu fördern. Wir hoffen, damit die Kooperation zwischen den Instituten zu verbessern und unser wissenschaftliches Denken über den engeren, eigenen fachlichen Horizont hinaus zu erweitern. Wir möchten aber auch die Ergebnisse unserer Forschung einer breiteren Öffentlichkeit als bisher im Rahmen von Vortragsveranstaltungen, Poster- und Geräteausstellungen und Veröffentlichungen zur Verfügung stellen.

Wir haben durch die Gründung der Arbeitsgruppe „Forschungsverbund Umwelttechnik“ bereits vorher bestehende umweltrelevante Clausthaler Forschungsaktivitäten zusammengefaßt. Wir hoffen, daß das Gespräch und das verstärkte Miteinander weitere Arbeiten initiieren werden, so daß sich der Gründungsaufwand irgendwann einmal auszahlt, oder aber unser Beispiel weitere Hochschulkollegen zu ähnlichen Aktivitäten stimuliert.

Aromaten im Abgas von Ottomotoren

Akad. Dir. Dr.-Ing. Joachim Zajontz

Institut für Chemische Technologie und Brennstofftechnik
Technische Universität Clausthal

Kohlenwasserstoffe gehören zu den gesetzlich limitierten Komponenten im Abgas von Verbrennungsmotoren. Die zu ihrer Bestimmung angewandten Methoden, früher „Nichtdispersive-Infrarot-Analysatoren (NDIR)“, jetzt überwiegend „Flammenionisationsdetektoren (FID)“, weisen einige bedeutsame Nachteile auf. Beide Methoden erfassen den Summenwert der Kohlenwasserstoffe nicht korrekt, zum anderen wird der unterschiedlichen Umweltrelevanz der einzelnen Kohlenwasserstoffe nicht Rechnung getragen.

Besonders der zweite Aspekt fordert eine differenzierte Analyse der einzelnen Kohlenwasserstoffe im Abgas von Verbrennungsmotoren. Die Methode der Wahl für diese Aufgabe ist die Gaschromatographie.

In der Abteilung für Mineralölanwendungen wurde daher vor einiger Zeit ein problemspezifisches gaschromatographisches Analysenverfahren zur differenzierten Messung der Kohlenwasserstoffe im Abgas von Ottomotoren entwickelt. Dabei werden nach Anreicherung der Kohlenwasserstoffe aus einer Abgasprobe diese zunächst in die drei Gruppen der gesättigten, olefinischen und aromatischen Kohlenwasserstoffe getrennt. Danach erfolgt auf speziellen Trennsäulen die weitere Trennung in einzelne Kohlenwasserstoffe innerhalb dieser Gruppen. So können ca. 60 Kohlenwasserstoffe – die wesentlichsten im Ottomotorabgas – einzeln gemessen werden. Das Bild 1 gibt eine Übersicht über die Schaltung des gaschromatographischen Systems.

Im Zusammenhang mit der Einführung unverbleiten Benzins in der Bundesrepublik Deutschland kam es zu einer Änderung der Formulierung der Kraftstoffe. So wurde die benötigte Oktanzahl der Benzine ohne Verbleiung durch eine Erhöhung des Anteiles von Aromaten dargestellt. Es ergab sich daraus die Frage, inwieweit Änderungen der Kraftstoffzusammensetzung zu einer Beeinflussung der Aromatenemissionen, insbesondere der Emissionen von kanzerogenem Benzol sowie Toluol und Xylenen, führen.

Als geeignete Methode zur Beantwortung dieser Aufgabenstellung bot sich das entwickelte gaschromatographische Analysensystem an. Die Untersuchungen wurden auf einem Motorprüfstand an verschiedenen Vollmotor-Varianten mit Vergaser bzw. Einspritzung in mehreren Betriebspunkten durchgeführt. Der Einfluß der Abgasnachbehandlung wurde an 3-Weg-Katalysator-Konzepten an Vollmotoren untersucht. Bild 2 zeigt den Aufbau der Versuchseinrichtung.

Um den Einfluß der Kraftstoffzusammensetzung genauer analysieren zu können, wurden die grundlegenden Arbeiten mit Modellkraftstoffen durchgeführt und Ver-

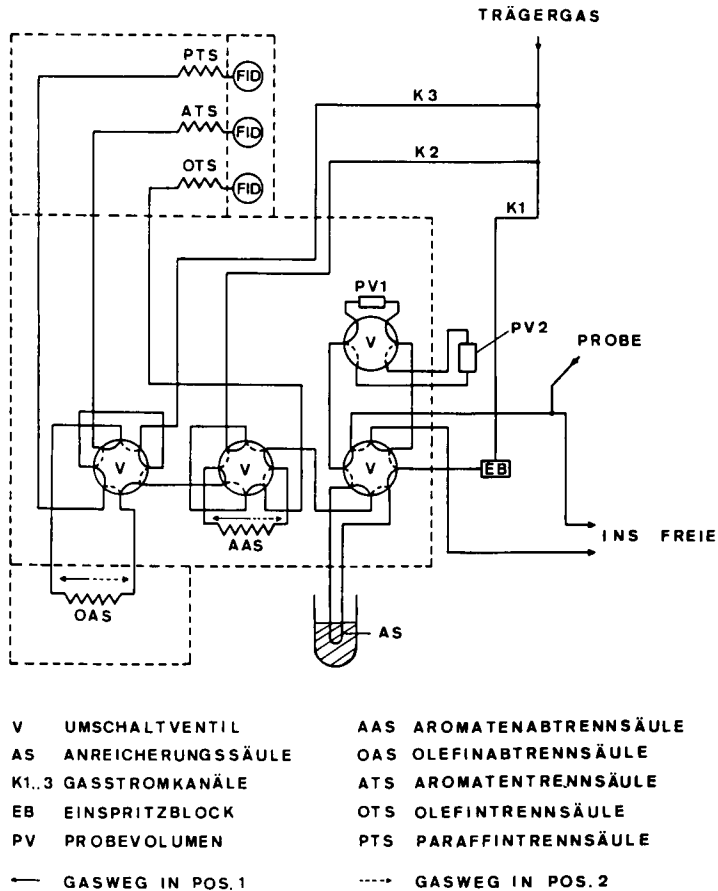


Bild 1:
Gaschromatographisches Analysensystem

gleichmessungen mit Realkraftstoffen vorgenommen. Die Modellkraftstoffe wurden aus den folgenden Komponenten zusammengestellt:

Paraffine: Isooktan (Basiskomponente)
Aromaten: Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol
Olefine: 1-Hexen
Alkohole: Methanol

Der Einfluß der Verbleiung wurde ebenfalls untersucht.

Von den untersuchten Kraftstoffkomponenten haben die Paraffine, Olefine und Alkohole keinen nennenswerten Einfluß auf die Aromatenemissionen. Auch eine Verbleiung beeinflußt die Aromatenemissionen nicht.

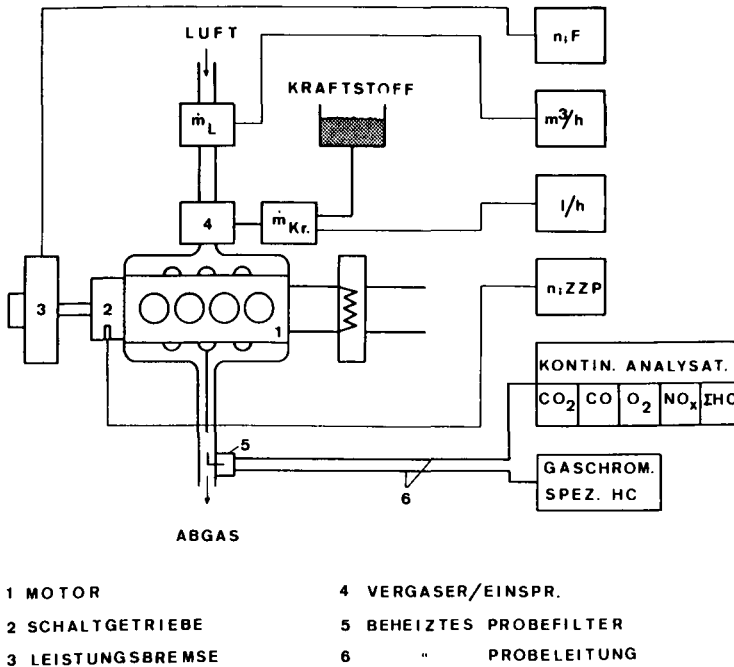


Bild 2:
Prüfstandseinrichtungen und Abgasanalytik

Die Aromaten sind die für die Benzolemissionen ausschlaggebenden Kraftstoffkomponenten. Es ist ein linearer Zusammenhang zwischen Benzol im Abgas und Benzol im Kraftstoff festgestellt worden, da ein Teil des Kraftstoffs konserviert, d.h. unverbrannt emittiert wird. Andere im Kraftstoff enthaltene Aromaten tragen durch Dealkylierung während der Verbrennung ebenfalls zur Benzolemission bei. Die Bedeutung dieser Neubildung ist um etwa eine Größenordnung niedriger zu bewerten als die der Konservierung von Benzol.

Für die Emission der übrigen Aromaten gelten im übertragenen Sinn die gleichen Feststellungen.

Eine Betrachtung von Mehrkomponentengemischen im Vergleich zu den Zweikomponentenmischungen deutet darauf hin, daß sich die zur Benzolemission beitragenden Kraftstoffkomponenten in etwa additiv an der Emission beteiligen.

Zur Klärung des Einflusses der katalytischen Abgasnachbehandlung wurden Messungen der Aromaten und anderer Kohlenwasserstoffe vor und nach dem Katalysator durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, daß die Emissionen der Aromaten durch Katalyse bei Luftverhältnissen um $\lambda = 1,0$ (3-Weg-Katalysator mit λ -Regelung) deutlich reduziert werden. Die Emissionen von Xylole und Ethylbenzol werden etwas stärker vermindert als die Toluolemissionen und diese wiederum ein-

deutig stärker als die Benzolemissionen. Insgesamt liegen die Emissionsreduzierungen aber immer in der Größenordnung der Umsetzung von Gesamtkohlenwasserstoffen. Die Unterschiede in den Reduzierungen der Aromaten beruhen auf parallel zu den gewünschten Oxidationsreaktionen ablaufenden Dealkylierungen der Alkylaromaten.

In einer Meßreihe wurden bei $\lambda = 0,87$ und hoher Motorbelastung erhöhte Benzolemissionen nach Katalysator gegenüber den Werten vor Katalysator festgestellt. Ein solcher Betriebspunkt ist relevant für eine Vollastanreicherung durch Abschaltung der λ -Regelung bei 3-Weg-Katalysator-Konzepten sowie für unregelte Katalysator-Konzepte. Dieser Befund verlangt daher nach einer weiteren Klärung durch Fortführung der Untersuchungen.

Abgasbehandlung für Dieselmotoren

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hoffmann

Institut für Chemische Technologie und Brennstofftechnik
Technische Universität Clausthal

1. Einleitung

Dieselmotoren emittieren neben den auch von Ottomotoren ausgestoßenen Schadstoffen wie Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Kohlenmonoxid je nach Typ und Fahrbedingung auch Rußpartikel. Diese Rußpartikel besitzen eine große spezifische Oberfläche, auf der feinste „Kondensattröpfchen“ adsorbiert sind. Zu den adsorbierten Spezies gehören u. a. reizerregende teiloxidierte Kohlenwasserstoffe (Aldehyde, Ketone, Phenole) sowie kondensierte Aromaten (PAH).

Aufgrund einer zunehmenden Umweltbelastung wird eine drastische Reduzierung der Schadstoffe und eine Einführung der seit langem in den USA geltenden Grenzwerte in Europa gefordert.

Nach dem heutigen Stand der Technik können die Emissionsgrenzwerte nur durch eine Abgasfilterung eingehalten werden. Obwohl in den letzten Jahren Fortschritte erzielt wurden, ist derzeit bei den Dieselmotoren der Nutzfahrzeuge weder das Problem der Partikelfilterung noch das der rechtzeitigen, selbsttätigen Regeneration zufriedenstellend gelöst.

Zur Gewährleistung eines sicheren Fahrzeugbetriebes muß eine rechtzeitige Erhöhung der Abgastemperatur zur Regenerierung des Filters vorgenommen werden, um Verstopfungen des Filters durch Ruß zu vermeiden; andernfalls steigt der Abgasdruck auf nicht vertretbare Werte an.

Es wird daher nach Lösungen gesucht, einerseits die Abgastemperaturen rechtzeitig zu erhöhen oder aber die Zündtemperaturen des abgeschiedenen Rußes durch geeignete Katalysatoren zu senken.

Höhe Abgastemperaturen können z. B.

- durch „Anfetten“ des im Motor gebildeten Luft-Kraftstoff-Gemisches oder
- durch die Anordnung eines abgas-/luftgespeisten Brenners im Abgassystem vor dem Filter, welcher bei Bedarf gezündet werden kann, erzeugt werden.

Die Katalysatoren können entweder dem Kraftstoff als Additiv zugegeben, dem Abgas beigemischt oder aber direkt durch Imprägnierung auf das Filtermaterial aufgebracht werden.

Als Fazit ergibt sich, daß ein selbständiges Freibrennen der Dieselruß-Filterssysteme mit unterschiedlichen Katalysatorsystemen erst oberhalb 300°C erreicht werden konnte.

2.1. Dieselaabgas-Filterung

Entscheidend für eine genaue Betrachtung der Vorgänge bei der Regeneration von Partikelfiltern ist die Erforschung der zugehörigen Abbrand- und Reaktionskinetik. Dazu sollte primär anfallender Dieselruß im Labor analysiert und oxidiert werden. Der Ruß mußte mit geeigneten Partikelfiltern aus dem Abgasstrom eines Dieselmotors so isoliert werden, daß sein primärer Zustand erhalten blieb.

Dazu war es notwendig, die Probenahme möglichst dicht hinter den Motorauslaß anzuordnen, um lange Nachreaktionszeiten, Temperaturänderungen, usw. zu unterbinden. Hierzu bot sich die „Teilstrom-Technik“ unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen wie Abgasvolumenstrom, Temperaturen, Drücke, etc. an.

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, mußte die Rußabscheidung über definierte Zeiträume und während konstanter Motorbetriebszustände unter Nutzung einer Umschalteneinrichtung erfolgen. Für einen schnellen Austausch der Filter in entsprechenden Adaptern wurde eine „Schubladentechnik“ entwickelt, die aus Filteraufnahme und Filterhalter bestand, um in möglichst kurzer Zeit in einem Betriebspunkt des Motors

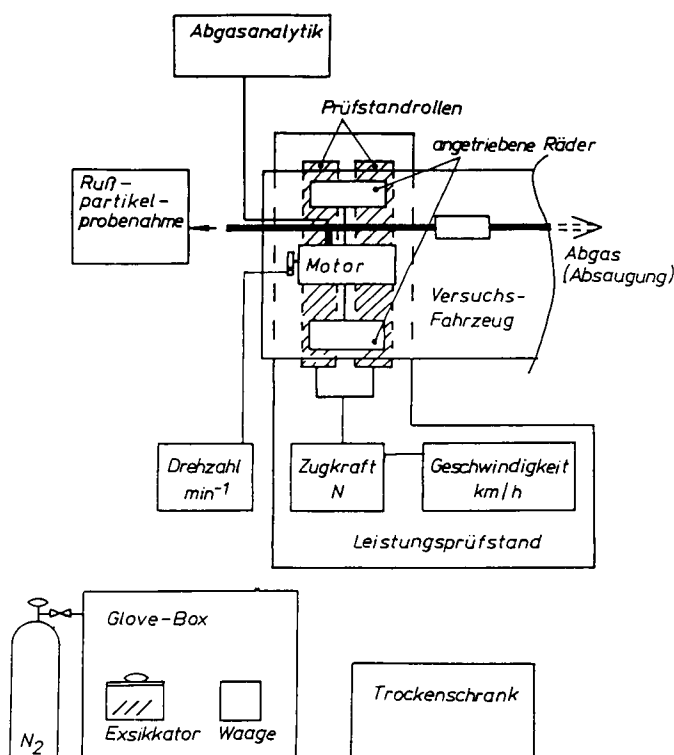


Abb. 1:
Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

mehrere Proben nehmen zu können. Hierzu war das Auspuffsammelrohr unmittelbar hinter dem Auslaßkrümmer mit einer Strömungsverzweigung versehen, an die sich das normale Auspuffsystem einerseits und die Probenahmeeinrichtung andererseits anschlossen. Es wurde eine Umschalteneinrichtung, bestehend aus zwei gekoppelten Drehklappen, konzipiert, die es ermöglichte, das fahrzeugeigene Abgassystem zu schließen und währenddessen das Abgas über die Probenahmeeinrichtung zu leiten. Die Klappen wurden so gesteuert, daß immer nur die zwei Stellungen „Auspuffsystem auf – Probenahme zu“, bzw. „Auspuffsystem zu – Probenahme auf“ möglich waren.

In Abbildung 1 ist der Versuchsaufbau schematisch wiedergegeben. Im Mittelpunkt der Untersuchungen steht dabei das Versuchsfahrzeug mit seinem Dieselmotor, welches mit seiner angetriebenen Vorderachse vom Fahrzeugprüfstand aufgenommen wird. Das zur Rußpartikelprobenahme bestehende System war dabei direkt mit dem serienmäßigen Abgastrakt gekoppelt. Der Abgasanalytik (CO -, CO_2 -, NO/NO_x -, O_2 -, HC -Konzentrationsmessung) wurde die Abgasprobe durch eine beheizte Probeleitung, die direkt hinter dem Abgaskrümmer des Versuchsmotors angeschlossen war, zugeleitet. Für die Teilstrom-Probenahme kam nur eine isokinetische Probenteilung (nach VDI-Richtlinie 2066 ausgelegt) in Frage, da sonst die notwendige Gleichheit von Probe- und Reststrom nicht gewährleistet wäre.

In Versuchen wurden verschiedene Filtermaterialien (Keramik- und Metallvliesfilter unterschiedlicher Porengröße) geprüft. Kriterien für die Beurteilung der durchgeführten Versuche mit verschiedenen Filtermaterialien waren:

- mechanische Festigkeit des Filters über die Versuchsdauer
- Druckverlust über dem unbelegten Filter
- Anstieg des Druckverlustes über dem Filter während der Probenahme
- Filtereffektivität, gekennzeichnet durch die abgefilterte Rußmasse pro Zeiteinheit.

Mit der Filterung von Dieselruß im Teilstrom wurde eine Methode entwickelt, die eine Rußfilterung ohne Veränderung des primär anfallenden Dieselrußes bei konstantem Betrieb des Versuchsmotors ermöglicht. So können rußbelegte Filter für nachfolgende Untersuchungen zum Abbrandverhalten des Rußes vom Filter (Rußoxidation) erhalten werden. Die Prüfungen unterschiedlicher Filtermaterialien auf ihre Eignung zum Einsatz unter festgelegten Versuchsbedingungen ergab, daß zunächst nur Edelmetallvlies-Filter mit einer mittleren Porengröße von $25\ \mu\text{m}$ allen Anforderungen gerecht werden. Für einen Übergang zu keramischen Filtern wurden Lösungsansätze gefunden, die jedoch einer Weiterentwicklung bedürfen. Bei Einsatz von Metallvlies-Filtern im Teilstrom, der isokinetisch mit 25% bezogen auf den Abgasgesamtstrom entnommen wird, sind Filterzeiten um ca. 3 min. zu verifizieren. Die abgeschiedenen Rußmengen liegen dabei um ca. 95 mg.

2.2. Reaktionskinetische Untersuchungen zum Dieselruß-Abbrand

Das Ziel der Untersuchungen war, die Einfluß-Parameter der Abbrandkinetik von Rußpartikeln zu bestimmen. Dazu wurde eine instationär arbeitende Kreislaufappa-

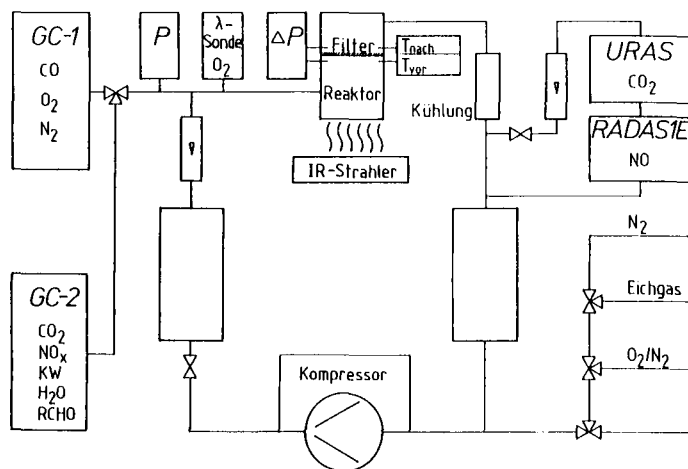


Abb. 2:
Fließschema der Kreislauf-Apparatur

ratur konzipiert, um an die Analytik nicht zu extreme Anforderungen stellen zu müssen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 schematisch wiedergegeben.

Die Regeneration der Rußfilter erfolgte durch Abbrennen der Rußpartikel in einem Quarzglas-Reaktor. Mit einem Kompressor wurde das Gas (synth. Luftgemisch) mit konstantem Volumenstrom ($\dot{N} = 25 \text{ l/min.}$) im Kreislauf durch das Filter gepumpt. Zur Einleitung des Zündvorganges konnte die Anströmtemperatur mit Hilfe eines IR-Strahlers zügig und kontinuierlich erhöht werden. Während des Versuches wurden simultan

- die Temperaturen T_v , T_n am Filter,
- der Druckabfall Δp über dem Filter, sowie
- die analytischen Daten:
 - die NO-Konzentration mit einem NDUV-Betriebsphotometer (Radas 1E),
 - die CO₂-Konzentration mit einem NDIR-Gasanalysator (URAS 1), und
 - die O₂-Konzentration mit einer λ -Sauerstoffsonde

als Funktion der Zeit erfaßt.

Da im Satzbetrieb gearbeitet wurde, konnten nach Versuchsende on-line-Proben aus der Kreislauf-Apparatur für die GC-Analyse entnommen werden.

Es wurden Fragestellungen zur Dieseluß-Filterregeneration (Rußverbrennung) bearbeitet. Hierbei stand die Abhängigkeit der Verbrennung von Parametern wie Sauerstoffkonzentration im Kreislaufgas, Rußgehalt im Filter sowie Katalysatorbeschichtung im Vordergrund.

Ein wesentliches Maß für den Dieselsruß-Abbrand ist die Zündtemperatur. Der Einfluß der genannten Parameter auf die Zündtemperatur wurde schwerpunktmäßig untersucht.

Die Bestimmung des Zündpunktes (Zündtemperatur, Zündzeitpunkt) erfolgte aus dem Δp - bzw. $d(\text{CO}_2)/dt$ -Maximum. Als Zündtemperatur wurde die gemessene Temperatur vor dem Rußfilter (T_v) zum Zeitpunkt des Maximums definiert.

Die für die erforderlichen reaktionstechnischen Untersuchungen entwickelte Kreislaufapparatur, dessen Hauptkomponente ein Quarzglasreaktor mit Hochleistungs-Infrarot-Beheizung war, erwies sich für die Untersuchungen als geeignet.

Übereinstimmend mit der Literatur ergaben sich für die unkatalysierte Ruß-Verbrennung bei etwa konstanter Rußmenge Zündtemperaturen von 600°C. Es ist notwendig, diese hohen Regenerationstemperaturen herabzusetzen, deshalb wurden zwei Wege verfolgt, nämlich,

- Imprägnierung des Filters mit Katalysatorsystemen, sowie
- Zugabe von katalytischen Additiven zum Dieselmotorkraftstoff.

Es wurden einfache und binäre Katalysatoren entwickelt und auf metallische Filtervliesseiben durch ein Tränk-Verfahren aufgebracht.

Beim Katalysator-screening zeigten die Cu-haltigen Systeme hinsichtlich des Zündpunktes, im Gegensatz zu allen anderen untersuchten Katalysatoren, einen herausragenden Effekt. Die Zündtemperaturen konnten erheblich gesenkt werden; im Vergleich dazu wiesen die Edelmetall-Katalysatoren nur eine geringe Wirkung auf. In Abbildung 3 wird die qualitative Bewertung der Katalysator-Kombinationen wiedergegeben.

	Cu	Fe	Mn	Ca	Pd
Cu	++	++	++	+++	++
Fe		o	o	o	o
Mn			o	+	o
Ca				o	o
Pd					o

Abb. 3:

Katalysator-Kombinationen: Bewertung

○ = keine Wirkung; + = schwache Wirkung; ++ = gute Wirkung; +++ = sehr gute Wirkung

Die Additive ergaben für die Rußfilter-Regeneration ein abweichendes Bild; z.B. zeigte ein Pd-haltiges Additiv die größte Temperaturniedrigung aller untersuchten Dieseldieselkraftstoff-Zusätze.

Die ersten kinetischen Modellansätze für die unkatalysierte Dieseldieselruß-Filter-regeneration ergaben in Übereinstimmung mit der Literatur Aktivierungsenergien von 90 KJ/mol.

Probleme der Schwerölverbrennung in Dieselmotoren

Dipl.-Ing. R. Behrens

Institut für Kolbenmaschinen, Universität Hannover

1. Einleitung

Große Dieselmotoren werden aus wirtschaftlichen Gründen in zunehmendem Maße mit Schweröl betrieben. Probleme treten dabei durch schlechte Zünd- und Brenneigenschaften sowie durch erhöhten Verschleiß auf.

2. Zündverhalten

Ein Maß für das Zündverhalten ist der Zündverzug. Als Zündverzug wird die Zeit bezeichnet, die vom Beginn des Einspritzens des Kraftstoffs in den Zylinder bis zum Beginn der Zündung vergeht. Ein langer Zündverzug kann hohe Druckgradienten im Zylinder und damit starke Triebwerksbelastungen und Geräuschemission verursachen.

Aromatenreiche Kraftstoffe gelten als zündträge. Um diese Abhängigkeit näher zu untersuchen, wurden Kraftstoffmischungen aus Schweröl (Atmosphären-Rückstand), Light-Cycle-Gasöl und Gasöl mit verschiedenen Aromatengehalten hergestellt. Mit diesen Mischkraftstoffen erfolgte eine Messung des Zündverzuges im Versuchsmotor. Parallel dazu wurden mit der Hochleistungsflüssigchromatographie die Aromaten nach Gruppen getrennt. Dabei zeigte sich, daß nicht der Gesamtaromatengehalt eine Korrelation mit dem Zündverzug ergab, sondern der Gehalt an Aromaten einer Gruppe mit drei kondensierten Ringen, Aromaten IV genannt [1].

Dieses Ergebnis wurde durch Untersuchungen von Kraftstoffen aus dem Feldbetrieb erhärtet. In Bild 1 ist das Gesamtergebnis dargestellt, wobei hier die Dichte der Kraftstoffe als weiterer Parameter hinzugenommen wurde.

3. Verschleiß

Erhöhter Verschleiß bei Schwerölbetrieb von Dieselmotoren ist im wesentlichen auf drei Ursachen zurückzuführen:

1. Höhere Druckgradienten im Zylinder, damit größerer mechanischer Verschleiß
2. Der Aschegehalt der Schweröle ist größer, daher folgt erhöhter abrasiver Verschleiß
3. Aufgrund des hohen Schwefelgehaltes ergibt sich ein großer korrosiver Verschleiß.

Für Verschleißuntersuchungen steht im IfKo der Uni Hannover ein Dieselmotor MAN V1V 23/23 mit ca. 150 KW Zylinderleistung zur Verfügung. Die Verschleißmessung erfolgt mit der Radio-Nuklid-Meßtechnik.

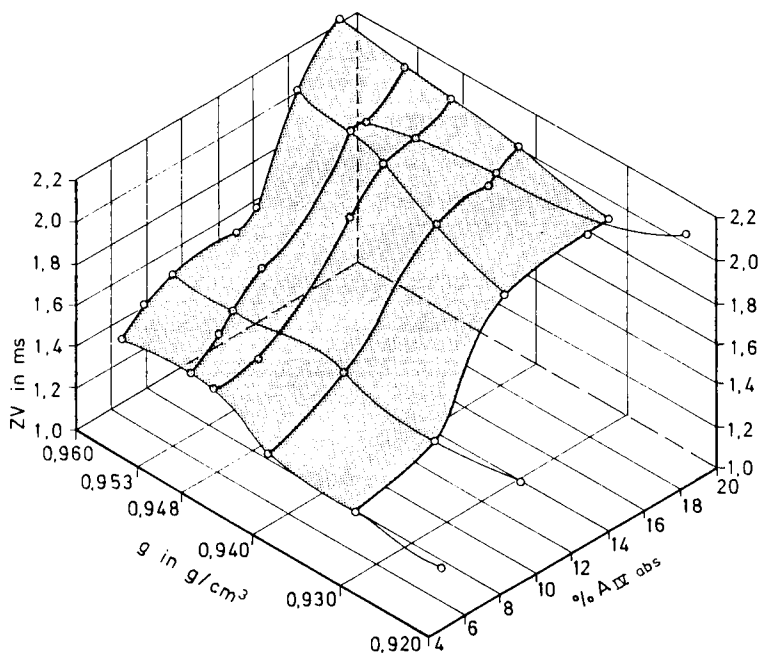


Abb. 1:

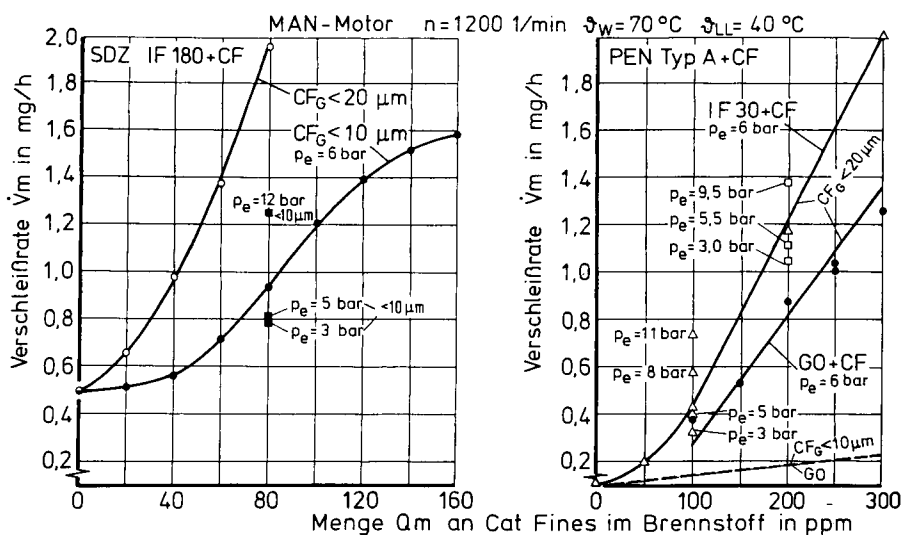
Alternative Brennstoffe – $ZV = f(g, A_{IV\text{abs}})$, SDZ ZP 2

Abb. 2:

Zukünftige Brennstoffe

Verschleißmessung Laufbuchse Co-56; $ZWV = f(CF, \text{Brennstoff})$

3.1. Verschleiß durch Cat-Fines

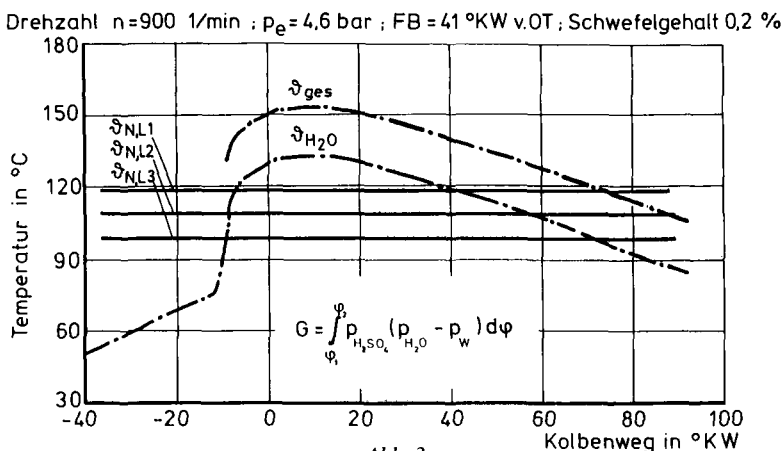
Cat-Fines sind harte Al/Si-Partikel, die als Katalysatorrückstände aus der Cat-Crack-Anlage der Erdölraffinerie ins Schweröl gelangen. Sie verursachen im Motor Verschleiß hauptsächlich am Einspritzsystem, an der Laufbuchse und an Kolbenringen und Kolbenringnuten.

Zur Untersuchung des Cat-Fines-Verschleißes am Versuchsmotor wurden verschiedenen Kraftstoffen gezielt Cat-Fines zugesetzt. Dazu kamen zwei Fraktionen zum Einsatz, eine beinhaltete Partikel bis zu einer Größe von 10 µm, die andere Partikel bis zu 20 µm Größe. Das Ergebnis der zugehörigen Verschleißmessungen zeigt Bild 2. Die unterschiedliche Verschleißzunahme bei den verschiedenen Kraftstoffen bei Zugabe von Cat-Fines ist durch die unterschiedliche Verkokungsneigung der Kraftstoffe bedingt [2]. Gasöl besitzt eine sehr geringe, das Schweröl SDZ eine sehr hohe Verkokungsneigung. In Koks- und Asphaltablagerungen im Brennraum reichern sich offenbar Cat-Fines an und können erhöhten Verschleiß bewirken.

3.2. Korrosionsverschleiß

Schweröle können bis zu 5% Schwefel enthalten. Dadurch entsteht bei der Verbrennung Schwefelsäure, die korrosiven Verschleiß an den Bauteilen hervorruft (Naßkorrosion), die mit dem Verbrennungsgas in Berührung kommen und deren Oberflächentemperaturen die Tautemperaturen von Wasserdampf und Schwefelsäure unterschreiten. An der Laufbuchse besonders gefährdet ist der Zwickel, d.h. der obere Umkehrpunkt des ersten Kolbenrings.

Um Aussagen über die Gefährdung durch Tautemperatur machen zu können, wurden die Partialdrücke der Verbrennungsgaskomponenten und die Tautemperaturen von Wasserdampf und Schwefelsäure berechnet (Bild 3). Ein Gefährdungsfaktor (G), der diese Daten berücksichtigt, wurde definiert und ist ebenfalls Bild 3 zu entnehmen.



Die Gefährdung durch Naßkorrosion läßt sich durch Verändern der Bauteiloberflächentemperaturen, z. B. mittels Variation der Kühlwassertemperaturen, beeinflussen [2]. Ebenfalls steigt oder fällt die Gefährdung bei gleichbleibenden Wandtemperaturen mit der Veränderung des Zünddrucks, die sich auf die Partialdrücke von Wasserdampf und Schwefelsäure auswirkt.

Die rechnerischen Untersuchungen konnten experimentell am Versuchsmotor bestätigt werden.

Literatur

- [1] Hesse, A., Krause, D.: Ermittlung der Abhängigkeit motortechnischer Kenndaten von den Eigenschaften alternativer Brennstoffe, Forschungsbericht BMFT-FB (MTK 0292 5), 1986.
- [2] Behrens, R., Groth, K., Hesse, A.: Verschleißgefährdung beim Einsatz Cat-Fines-haltiger Brennstoffe und beim Einsatz schwefelhaltiger Brennstoffe, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 80 (1986).

Minderung der mechanischen Reibungsverluste

Dr.-Ing. E. Thiele

Institut für Kolbenmaschinen, Universität Hannover

Den Ausgangspunkt zur Verbesserung des mechanischen Wirkungsgrades bildet die Analyse der Reibungsverluste im Triebwerk. Aus der Aufteilung der Reibanteile nach Entstehungsort können die Baugruppen erkannt werden, die aufgrund ihres hohen Anteils den stärksten Einfluß auf die Gesamtverluste besitzen und damit auch ein bedeutendes Potential für die Verbrauchsminderung durch Reibungssenkung darstellen.

Dazu werden am Institut für Kolbenmaschinen entwickelte Meßaufbauten vorgestellt, die zur Erfassung der Einzelanteile von Kolbengruppe (Kolben und Ring) und Gleitlagern (Grund- und Pleuellagern) entstanden sind. Mit Hilfe dieser Meßaufbauten wird ein kleiner Serien-Ottomotor analysiert.

Während Kolbengruppe und Ventiltrieb bei niedrigen Drehzahlen überwiegen, steigt die Bedeutung von Lagergruppe und Ölpumpe (Sichelpumpe) bei hohen Drehzahlen an. Durch konsequentes Anwenden aller Möglichkeiten zur Verminderung der mechanischen Verluste wurde ausgehend von einem Serientriebwerk eine Reibungsminderung im Teillastgebiet von ca. 40%, bei Vollast ca. 30% erreicht. Die Maßnahmen beinhalten im einzelnen:

1. Kurbeltrieb: Übergang von 5 auf 3 Grundlager, Pleuellagerdurchmesser verringert, Pleuel verlängert.
2. Kolbengruppe: Leichtbaukolben, Ringhöhen geringfügig verringert.
3. Ventiltrieb: Umstellung von Schlepphebel auf Tassenstößel, Federkraft verringert, Zahnriemen schmaler.
4. Ölpumpe: Übergang von Sichel- auf Zahnradpumpe mit halber Kurbelwellendrehzahl.

Allein die letzte Maßnahme brachte einen Reibungsgewinn von bis zu 50% bezogen auf die Sichelpumpe. Ähnliche Größenordnungen konnten am Kurbeltrieb erreicht werden, wobei sich neben der Reduktion der Lagerzahl und des Pleuellagerdurchmessers ebenfalls die Verringerung der oszillierenden Massen auswirkt.

Die Möglichkeiten zur Verbesserung des mechanischen Wirkungsgrades wurden anhand der Diskussion der Einzelreibungsanteile der Kolbengruppe, der Gleitlager, des Ventiltriebs und der Ölpumpe dargestellt. Wenn auch durch Einzelmaßnahmen keine gravierenden Verbesserungen erreicht werden können, so zeigt sich doch, daß in der Summe ein Potential vorhanden ist, welches bei konsequenter Ausnutzung im Teillastgebiet zu einer deutlichen Verbesserung des mechanischen Wirkungsgrades und damit des Kraftstoffverbrauches führen kann. Die Ergebnisse werden im einzelnen mit den Bildern 1 und 2 veranschaulicht.

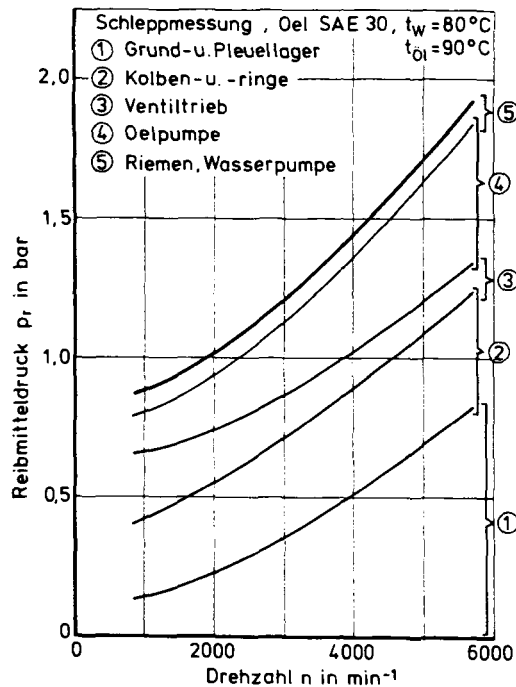


Bild 1:
 Aufteilung der Reibverlustanteile für einen kleinen
 Ottomotor

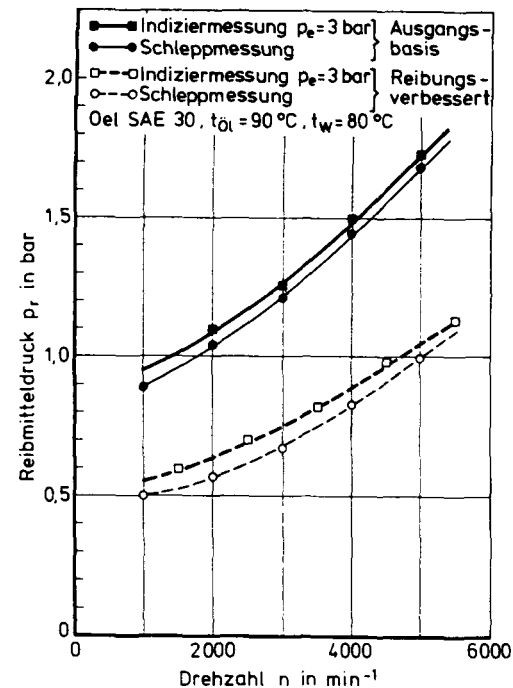


Bild 2:
 Potential der Reibungsminderung durch Maßnahmen
 am gesamten Triebwerk eines kleinen Ottomotors

Untersuchung des Geräuschverhaltens von Axialkolbenmaschinen

Dipl.-Ing. Thomas Grahl

Institut für Kolbenmaschinen, Universität Hannover

Das Anwendungsgebiet von Axialkolbenpumpen ist in den letzten Jahren stetig erweitert worden. Dabei hat sich die ohnehin kritische Lage hinsichtlich der Geräuschemission durch zunehmende Leistungsdichte und Konzentration von Maschinen weiter verschärft. Zur Einhaltung der Grenzwerte wird zunächst versucht, mit Hilfe von Sekundärmaßnahmen bereits entstandene Geräusche an der Weiterleitung zu hindern, ohne die zumeist von ihrer Funktion her ausgereiften Konstruktionen zu verändern. Im Bereich der Kolbenmaschinen ist das durch Teil- oder Vollkapselung des Gehäuses und durch zusätzliche Schalldämpfer möglich. Diese zwar wirkungsvollen Maßnahmen ziehen jedoch eine Bauvolumen- und Gewichtszunahme, sowie zusätzliche Kosten, nach sich.

Mit großer Intensität werden daher Möglichkeiten der primären Geräuschminderung untersucht. Wenn es nämlich gelingt, durch konstruktive Änderungen in den Geräuscentstehungsmechanismus einzugreifen und dadurch die Geräuschemission zu senken, kann man den Aufwand für Sekundärmaßnahmen reduzieren.

Dieser Beitrag beschreibt Untersuchungen zum Geräuschverhalten von Axialkolbenpumpen in Schrägachsenbauart (Bild 1), sowie Ansätze zur primären Minderung der Geräuschemission.

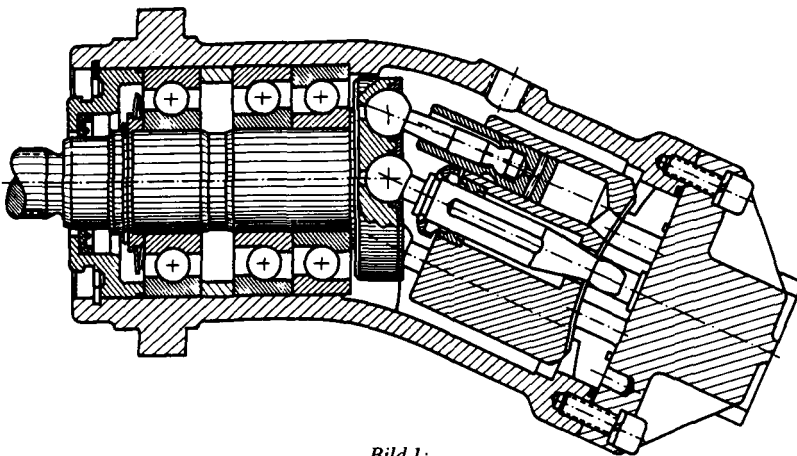


Bild 1:
Axialkolbenpumpe in Schrägachsenbauart

Der periodische Druckverlauf erzeugt eine Kraftanregung der Maschinenstruktur, die nahezu ausschließlich das Geräuschverhalten von Axialkolbenpumpen bestimmt. Bei der Addition der einzelnen Kolbenkräfte zu einer resultierenden Gesamtkraft, entsteht neben einem statischen auch ein dynamischer Anteil, Bild 2. Der dynamische Anteil wird bei der häufig verwendeten Pumpe mit 7 Kolben dadurch erzeugt, daß im Wechsel 3 bzw. 4 Kolben vom Hochdruck beaufschlagt sind. Dieses ist eine Folge der ungeraden Kolbenzahl, die wegen der geringeren kinematisch bedingten Pulsation den geraden Kolbenzahlen vorgezogen wird. Die Amplitude der Kraftanregung wird dabei durch den Betriebsdruck, die Kontur der An- und Abstiegsflanken durch die Umsteuerung der Zylinder bestimmt. Die primäre Geräuschminderung an diesen Systemen bedeutet daher, eine geräuschgünstige Gestaltung des Druckverlaufes im Zylinder während der Umsteuerung (Druckauf- bzw. Druckabbau) zu erreichen. Durch redu-

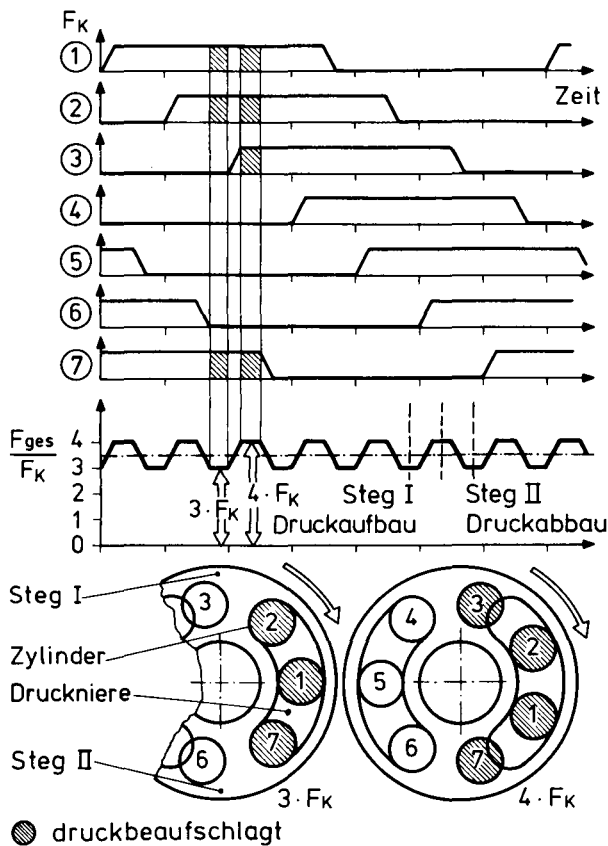


Bild 2:
Entstehung der axialen Gesamtkraft

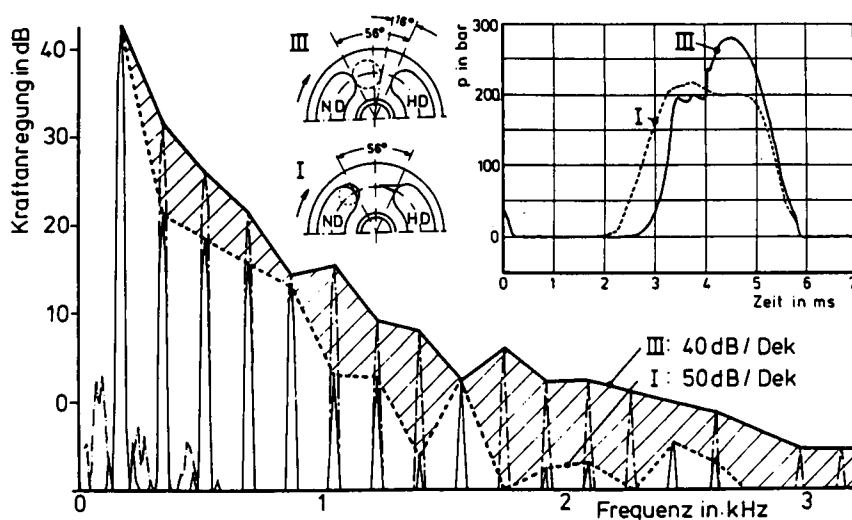


Bild 3:
Geräuschminderung durch Kerben

zierte Gradienten im Umsteuerverlauf werden Anregungskomponenten vermieden, die im Bereich der physiologisch relevanten Frequenzen liegen.

In der Ölhydraulik sind heute Dämpfungskerben im Steuerspiegel Stand der Technik. Durch sie werden die Strömungsvorgänge zeitlich gedehnt und schlagartige Drucksprünge vermieden. Derartige Maßnahmen verbessern das Geräuschverhalten der Pumpen erheblich, wie Bild 3 zeigt. Aufgetragen sind der der Anregung entsprechende Umsteuerdruck im Zeit- und im Frequenzbereich, sowie die verwendeten Umsteuergeometrien. Spiegel I ist mit Steuerkerben ausgestattet. Man erkennt den gedehnten Druckverlauf bei Verwendung des Spiegels I, der gegenüber Spiegel III zu einer Geräuschabsenkung von ca. 8 dB führt.

Den hier sichtbaren Vorteilen der Dämpfungskerben in Bezug auf die Geräuschminderung stehen oftmals Kavitationsprobleme gegenüber. Besonders bei Anwendung wasserhaltiger Druckflüssigkeiten wird im engen Kerbenquerschnitt während des Absteuerns hoher Druckdifferenzen der Dampfdruck unterschritten. Die dadurch entstehende Kavitation kann, abhängig von den Randbedingungen, zum erosiven Verschleiß angrenzender Bauteile führen. Aus diesem Grunde wurden am IFKO auch Möglichkeiten untersucht, Geräuschminderung ohne den Einsatz von Dämpfungskerben zu erreichen.

Wesentliche Vorteile im Geräuschverhalten ergeben sich, wenn die Steuerzeiten dem jeweiligen Lastpunkt angepaßt werden. Man vermeidet hierdurch Druckausgleichsvorgänge, die entstehen, wenn der Zylinder Verbindung zu einer Niere erhält und zwischen beiden eine Druckdifferenz vorhanden ist. Dieses läßt sich durch die sogenannte Steuerspiegelverdrillung erreichen. Hierbei wird der gesamte Spiegel um

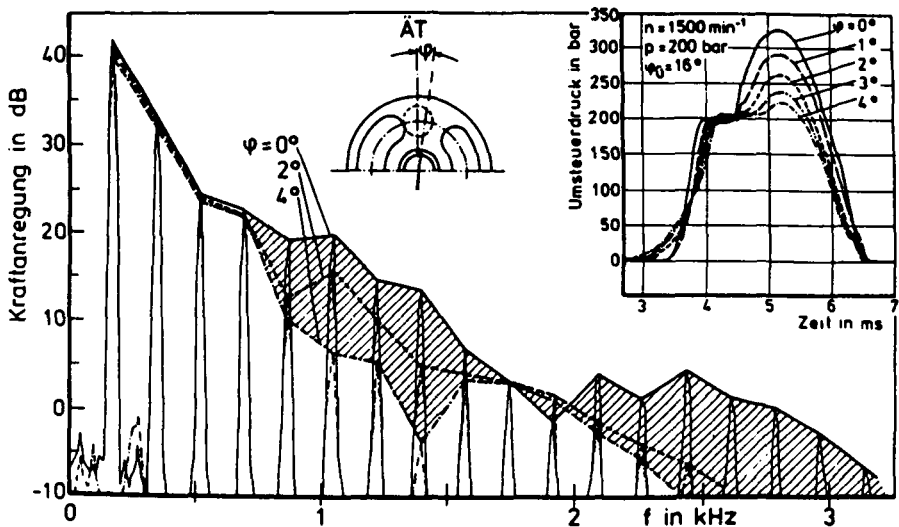


Bild 4:
Geräuschminderung durch Spiegelverdrillung

seine Mittelachse gedreht. Bild 4 zeigt die Veränderung der Kraftanregung bei variiert Verdrehung. Wie man sieht, beeinflusst auch die Verdrehung in großem Maße die geräuschanregende Kraft. Für den hier dargestellten Fall ist die größte Verdrehung am günstigsten, da in der Überdeckungsphase das Medium im Zylinder auf das Niveau der Druckniete komprimiert wird. Bei niedrigeren Verdrehungswinkeln erfolgt der Druckanstieg im wesentlichen durch Rückstromkompression, die hohe Druckgradienten zur Folge hat.

Es ist leicht vorstellbar, daß die Maßnahmen zur Optimierung des Geräuschverhaltens nur für einen Druck und eine Drehzahl optimale Ergebnisse liefern können. Das gilt sowohl für die Steuerkerben, als auch für die Verdrehung des Spiegels. Bei der Spiegelverdrillung sind jedoch variable Systeme im Labor bereits erfolgreich realisiert worden. In der industriellen Praxis sind solche Systeme bisher jedoch nicht angenommen worden. Zum einen sind die Konstruktionen noch nicht ausgereift, zum anderen erhöht der zusätzliche Fertigungsaufwand die Herstellungskosten. Die zunehmenden Bestrebungen zur Humanisierung der Arbeitswelt lassen es jedoch erwarten, daß in der Zukunft auch variable Umsteuersysteme bei Serienpumpen Verwendung finden werden.

Öffentliche Veranstaltungen

Im Rahmen der die Feierliche Jahresversammlung begleitenden öffentlichen wissenschaftlichen Vortragsstagung wurden am 12.6.1987 die drei folgenden Vorträge gehalten:

Der Beitrag computerorientierter Elementmethoden zur Steigerung der Tragwerkssicherheit bei Schalentragwerken

Von **Wilfried B. Krätzig**, Ruhr-Universität Bochum

1. Vorbemerkungen

Alles auf dieser Welt ist vergänglich: es besitzt Anfang und Ende. Dies gilt für Lebewesen, also für uns, und für die Gebilde der Technik. Da das Ende gewiß, aber nicht terminiert ist, kann Lebensdauer nur in statistischen Kategorien gemessen werden: mit den Begriffen der *mittleren Lebensdauer* und der *Versagenswahrscheinlichkeit*.

Beides sind Begriffe der Technik. *Versagenswahrscheinlichkeit* quantifiziert Gefährdungen eines technischen Systems dual zur *Sterbewahrscheinlichkeit* eines Menschen. Da der Mensch in die Technik eingebunden ist, beeinflußt die Versagenswahrscheinlichkeit vieler technischer Systeme die Sterbewahrscheinlichkeit ihrer Benutzer: es kommt zu *kombinierten Versagenswahrscheinlichkeiten*. Anders ausgedrückt: Technische Systeme besitzen i. a. Gefährdungspotentiale für die sie nutzenden Menschen. Vorbedingung für Akzeptanz eines technischen Systems durch die Gesellschaft ist

- der erkennbare Nutzen,
- oftmals das Vergnügen an seiner Benutzung,
- vor allem aber die Limitierung der Zusatzgefährdung auf von der Allgemeinheit tolerierte Grenzwerte.

Aus den bei dieser Begrenzung zu beobachtenden ökonomischen Abhängigkeiten können sich Widersprüche zwischen den Möglichkeiten der Technik und den Bedürfnissen der sie nutzenden Gesellschaft entwickeln.

Eine besonders umfassende Gefährdung des Menschen geht von *Baukonstruktionen* aus, wie uns Sturmschäden, Gasexplosionen, Erdbebenzerstörungen oder Brände immer wieder lehren. Allerdings sind wir uns dessen selten bewußt, weil Bauwerke wichtige Urbedürfnisse des Menschen nach Wärme, Schutz und Geborgenheit befriedigen.

Dennoch stellt, wegen dieses Gefährdungspotentials von Bauwerken, die *Gefährdungsabwehr bzw. -reduktion* eine Hauptaufgabe der Bauingenieure dar. Hierzu benötigen sie genaueste Kenntnisse der jeweiligen Versagensphänomene einer zu beurteilenden Baukonstruktion, die i. a. aus der Anwendung differentiell formulierter Naturgesetze auf ein Tragwerk, also durch Lösung von *Rand- oder Anfangsrandwert-*

problemen, zu gewinnen sind. Auf diesem Weg erkannte Versagensphänomene werden durch *Sicherheitsfaktoren* soweit ausgegrenzt, daß die Wahrscheinlichkeiten ihres Auftretens der Gesellschaft vertretbar erscheinen. Dies ist die klassische Methodik des Bauingenieurwesens: Da fast immer Unikate errichtet werden, stützt man sich auf rechnerische Nachweisverfahren ab. Man untersucht Versagensphänomene nur selten, wie im gesamten Maschinenbau noch üblich, durch Experimente an Prototypen.

Die Lösung der Rand- oder Anfangsrandwertprobleme bei Baukonstruktionen zielt auf die Bestimmung ihrer *Spannungs- und Verformungszustände*. Dieses Ziel ist ohne die modernen, computerorientierten Berechnungsmethoden, die *Elementmethoden*, völlig undenkbar. Fast immer ist nämlich das zum Versagen führende physikalische Geschehen vielfältig, kompliziert und verwickelt. Vor allem aber spielt es sich nicht in einfachen mathematischen Gebieten ab, sondern in ebenen oder räumlichen Strukturen kompliziertester Gestalt: unseren Tragwerken.

Damit ist mein Thema umrissen: Die *Gefahrenabwehr* durch sichere Ausgrenzung des Tragwerksversagens, die Notwendigkeit, dies auf *numerische Nachweisprozesse* zu begründen, und die Rolle moderner, *computerorientierter Berechnungskonzepte* hierbei.

2. Diskretisierungskonzept und Spannungsanalysen

Auf Bild 1 betrachten wir die Mittelfläche F und Berandung C eines beliebigen Flächentragwerks, dessen Punkte durch ein Netz GAUSSscher Koordinaten Θ^1, Θ^2 beschrieben werden. Dieses Tragwerk sei beliebig gelagert und beliebig belastet. Meinem Thema gemäß soll das zugeordnete Randwertproblem nicht exakt gelöst werden, sondern *näherungsweise* mit einer Elementmethode. Daher wurde bereits ein finites Dreiecksraster über das Schalengebiet gezogen.

Die mechanischen Grundgleichungen dieses Problems zeigt, in symbolischer Darstellung, das TONTI-Schema des Bildes 2 [1],[2]. Es enthält die Variablen und Trans-

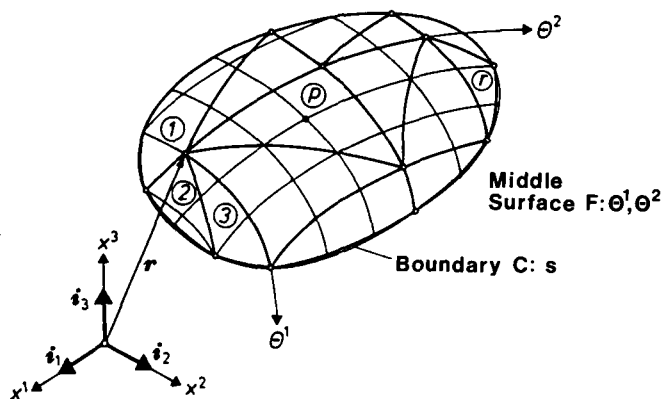


Bild 1:
Diskretisiertes Flächentragwerk

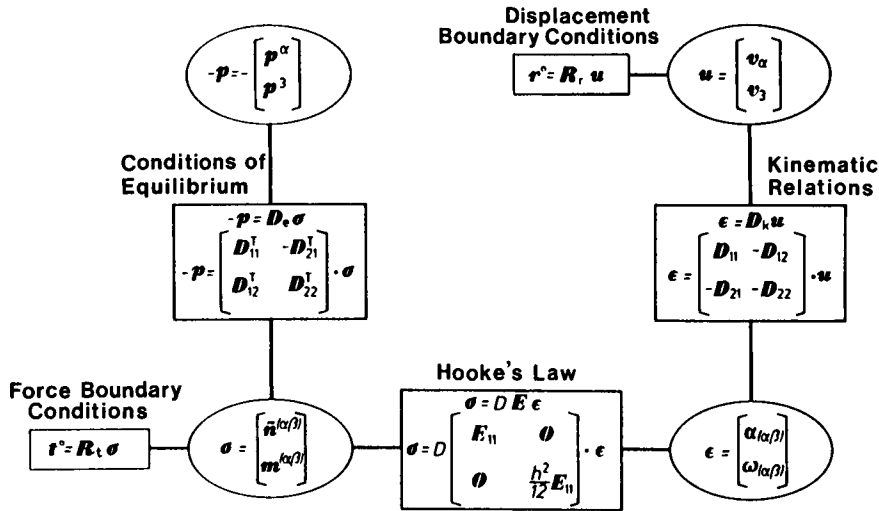


Bild 2:

Strukturschema einer konsistenten, linear-elastischen Flächentragwerkstheorie vom Kirchhoff-Love-Typ (Variante A)

formationen einer linear-elastischen Flächentragwerkstheorie. In den beiden oberen Ellipsen befinden sich links die Mittelflächenlasten p sowie rechts die Feldverschiebungen u , darunter die Schnittgrößen σ und die Verzerrungen ϵ . Alles stellen *matrizenvariable* dar: sie sind als Spalten definiert, deren Elemente aus Tensorkomponenten bestehen:

$$p = \begin{bmatrix} p^\alpha \\ p^3 \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_3 \end{bmatrix}, \sigma = \begin{bmatrix} \tilde{n}^{(\alpha\beta)} \\ m^{(\alpha\beta)} \end{bmatrix}, \epsilon = \begin{bmatrix} \alpha_{(\alpha\beta)} \\ \omega_{(\alpha\beta)} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Hierin bilden $p^\alpha = \{p^1, p^2\}$, $v_\alpha = \{v_1, v_2\}$ tangential zur Mittelfläche, $p^3 = p^3$, $v_3 = v_3$ normale Komponenten. $\tilde{n}^{(\alpha\beta)} = \{\tilde{n}^{(11)}, \tilde{n}^{(12)}, \tilde{n}^{(21)}, \tilde{n}^{(22)}\}$ faßt die Komponenten des symmetrischen Dehnungskrafttensors zusammen, $m^{(\alpha\beta)} = \{m^{(11)}, m^{(12)}, m^{(21)}, m^{(22)}\}$ diejenigen des Momententensors. $\alpha_{(\alpha\beta)} = \{\alpha_{(11)}, \alpha_{(12)}, \alpha_{(21)}, \alpha_{(22)}\}$ und $\omega_{(\alpha\beta)} = \{\omega_{(11)}, \omega_{(12)}, \omega_{(21)}, \omega_{(22)}\}$ verkörpern den 1. und 2. Verzerrungstensor der Mittelfläche. Auf gleicher Ebene stehende Variablen leisten miteinander mechanische Arbeit: $p \cdot u$, $\sigma \cdot \epsilon$.

In den Kästen dieses Schemas sind die Gleichgewichtsbedingungen (links) und die kinematischen Beziehungen (rechts) als *matrizenvariable Differentialoperationen* angeordnet. Randkraftgrößen t und Randverschiebungen r sind mit ihren Grundvariablen im wesentlichen *algebraisch* verknüpft; dies trifft vollständig auf das Werkstoffgesetz zu. Stellvertretend für die genannten Operationen sind in Bild 3 die kinematischen Beziehungen detailliert, dabei kürzen d_1, d_2 *kovariante* Ableitungen auf der Mittelfläche ab.

Jede konsistente physikalische Theorie läßt sich in einem solchen Schema darstellen, wobei *lineare* Theorien der Elastomechanik durch die Adjungiertheit ihrer beiden

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \alpha_{(11)} \\ \alpha_{(12)} \\ \alpha_{(21)} \\ \alpha_{(22)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_{11} & -\mathbf{D}_{12} \\ -\mathbf{D}_{21} & -\mathbf{D}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{v}_a \\ \mathbf{v}_b \end{bmatrix} = \mathbf{D}_k \cdot \mathbf{u} \quad \begin{matrix} d_1 = \dots /_1 \\ d_2 = \dots /_2 \end{matrix}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_{(11)} \\ \alpha_{(12)} \\ \alpha_{(21)} \\ \alpha_{(22)} \\ \omega_{(11)} \\ \omega_{(12)} \\ \omega_{(21)} \\ \omega_{(22)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & -b_{11} \\ \frac{1}{2}d_2 & \frac{1}{2}d_1 & -b_{12} \\ \frac{1}{2}d_2 & \frac{1}{2}d_1 & -b_{21} \\ 0 & d_2 & -b_{22} \\ -(2b_1^1 d_1 + b_1^1 /_1) & -(2b_1^2 d_1 + b_1^2 /_1) & -(d_{11} - b_1^1 b_{11} - b_1^2 b_{12}) \\ -(b_2^1 d_1 + b_1^1 d_2 + \frac{1}{2}(b_2^1 /_1 + b_1^1 /_2)) & -(b_2^2 d_1 + b_1^2 d_2 + \frac{1}{2}(b_2^2 /_1 + b_1^2 /_2)) & -(\frac{1}{2}d_{12} + \frac{1}{2}d_{21} - b_1^1 b_{12} - b_1^2 b_{22}) \\ -(b_2^1 d_1 + b_1^1 d_2 + \frac{1}{2}(b_2^1 /_1 + b_1^1 /_2)) & -(b_2^2 d_1 + b_1^2 d_2 + \frac{1}{2}(b_2^2 /_1 + b_1^2 /_2)) & -(\frac{1}{2}d_{12} + \frac{1}{2}d_{21} - b_1^1 b_{12} - b_1^2 b_{22}) \\ -(2b_2^1 d_2 + b_2^1 /_2) & -(2b_2^2 d_2 + b_2^2 /_2) & -(d_{22} - b_2^1 b_{12} - b_2^2 b_{22}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}$$

Bild 3:
Kinematische Beziehungen

Operationen $\mathbf{D}_e, \mathbf{D}_k$ gekennzeichnet sind. Analoge Darstellungen für weitere Formulierungsvarianten von Flächentragwerkstheorien finden sich in [2].

Zur näherungsweisen Lösung des eingangs skizzierten Randwertproblems stellen wir nun das *elastische Gesamtpotential* eines typischen Elementes endlicher Größe, eines *finiten Elementes* p auf. Mit den Bezeichnungen des Bildes 2 lautet dieses:

$$\pi^p = 1/2 \iint_{F^p} \epsilon^{pT} \mathbf{D} \mathbf{E} \epsilon^p dF^p - \iint_{F^p} \mathbf{u}^{pT} \mathbf{p} dF^p - \int_{C_1^p} \mathbf{r}^{pT} \mathbf{t}^p ds^p. \quad (2)$$

Elementweise trifft man sodann Lösungsansätze für das Verschiebungsfeld \mathbf{u}^p , aus denen solche für die Verzerrungen ϵ^p und die Randverschiebungen \mathbf{r}^p herleitbar sind:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}^p &= \mathbf{\Omega}^p \mathbf{v}^p, \\ \epsilon^p &= \mathbf{D}_k \mathbf{\Omega}^p \mathbf{v}^p = \mathbf{H}^p \mathbf{v}^p, \\ \mathbf{r}^p &= \mathbf{R}_1 \mathbf{\Omega}^p \mathbf{v}^p. \end{aligned} \quad (3)$$

Die Lösungsansätze werden auf diskrete Elementgrößen \mathbf{v}^p bezogen, die sog. *Elementfreiheitsgrade*, als welche zweckmäßigerweise Weggrößen in den Elementknoten gewählt werden.

Nun werden die Testfunktionen (3) in das Funktional (2) substituiert und anschließend die Integrationen ausgeführt:

$$\begin{aligned} \pi^p &= 1/2 \mathbf{v}^{pT} \iint_{F^p} \mathbf{H}^{pT} \mathbf{D} \mathbf{E} \mathbf{H}^p dF^p \mathbf{v}^p \\ &\quad - \mathbf{v}^{pT} \iint_{F^p} \mathbf{\Omega}^{pT} \mathbf{p} dF^p - \mathbf{v}^{pT} \int_{C_1^p} \mathbf{\Omega}^{pT} \mathbf{R}_1^T \mathbf{t}^p ds^p \\ &= 1/2 \mathbf{v}^{pT} \mathbf{k}^p \mathbf{v}^p - \mathbf{v}^{pT} \mathbf{p}_F^p - \mathbf{v}^{pT} \mathbf{p}_c^p. \end{aligned} \quad (4)$$

Macht man sodann dieses Näherungspotential durch seine notwendige Bedingung, das Verschwinden der 1. Variation von π^p hinsichtlich \mathbf{v}^p , stationär, so gelangt man zu der linearen *Elementsteifigkeitsbeziehung*:

$$\delta\pi^p = \mathbf{k}^p \mathbf{v}^p - \mathbf{p}_F^p - \mathbf{p}_c^p = \mathbf{k}^p \mathbf{v}^p - \mathbf{p}^p = \mathbf{0}. \quad (5)$$

In dieser Relation zwischen Elementknotenkräften \mathbf{p}^p und Elementfreiheitsgraden \mathbf{v}^p spielt die Proportionalitätsmatrix \mathbf{k}^p , die *Elementsteifigkeitsmatrix*, eine herausragende Rolle. Wegen der gleichen Ordnung der Matrizen $\mathbf{p}^p, \mathbf{v}^p$ ist sie stets *quadratisch*, wegen der quadratischen Form der inneren Energie in (2) *symmetrisch* und *positiv definit*.

Durch Zusammenbau aller Elemente zur Gesamtstruktur gewinnt man die *Gesamtsteifigkeitsbeziehung* (8), offensichtlich als notwendige Bedingung für *Stationarität* des *globalen* Näherungspotentials Π , im Falle der getroffenen Voraussetzungen sogar für dessen Minimaleigenschaften:

$$\mathbf{v}^p = \mathbf{a}^p \mathbf{V}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Pi &= \sum_{p=1}^r \pi^p = 1/2 \mathbf{V}^T \sum_{p=1}^r \mathbf{a}^{pT} \iint_{F^p} \mathbf{H}^{pT} \mathbf{D} \mathbf{E} \mathbf{H}^p dF^p \mathbf{a}^p \mathbf{V} \\ &\quad - \mathbf{V}^T \sum_{p=1}^r \mathbf{a}^{pT} \iint_{F^p} \boldsymbol{\Omega}^{pT} \mathbf{p} dF^p - \mathbf{V}^T \sum_{p=1}^r \mathbf{a}^{pT} \int_{C_1^p} \boldsymbol{\Omega}^{pT} \mathbf{R}_t^T \mathbf{t}^p ds^p \\ &= 1/2 \mathbf{V}^T \mathbf{K} \mathbf{V} - \mathbf{V}^T \mathbf{P}_F - \mathbf{V}^T \mathbf{P}_c = 1/2 \mathbf{V}^T \mathbf{K} \mathbf{V} - \mathbf{V}^T \mathbf{P}. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\delta\Pi = \mathbf{K} \mathbf{V} - \mathbf{P} = \mathbf{0}. \quad (8)$$

Dabei werden die in der Spalte \mathbf{V} der *globalen Knotenfreiheitsgrade* zusammengefaßten Matrixelemente ebenso wie die *globalen Knotenkraftgrößen* \mathbf{P} zweckmäßigerweise auf ein globales, für das gesamte Tragwerk geltendes Bezugssystem bezogen. \mathbf{P} und \mathbf{V} sind erneut energetisch korrespondierend, und die *Gesamtsteifigkeitsmatrix* \mathbf{K} ist wieder quadratisch, symmetrisch und positiv definit. Für ein kinematisch unverschieblich gelagertes Tragwerk ist sie darüber hinaus regulär.

Die Gesamtsteifigkeitsbeziehung (8) stellt die Grundgleichung des *Weggrößenverfahrens* der finiten Elemente dar. Aus vorgegebenen Knotenlasten \mathbf{P} werden zunächst die Knotenfreiheitsgrade \mathbf{V} bestimmt, hieraus mittels (6) die Elementfreiheitsgrade \mathbf{v}^p und aus diesen mittels (3) die genäherten Weggrößenfelder $\mathbf{u}^p, \boldsymbol{\varepsilon}^p, \mathbf{r}^p$. Die Transformationen des Bildes 3 führen hieraus zu allen bemessungsrelevanten Kraftgrößenfeldern.

Man erkennt unschwer, daß diese Vorgehensweise das bekannte RITZsche Verfahren [3], 1909 publiziert, darstellt: Die globale Steifigkeitsbeziehung bildet dabei das RITZsystem. Das Verfahren konvergiert *energetisch* bei Erhöhung der RITZparameter, hierfür stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- eine Erhöhung der Anzahl der Ansatzfunktionen im Element, dies führt auf sog. *höhere* Elemente,
- eine Netzverdichtung.

Beide Wege, die erweiterte Gleichungssysteme (8) erzeugen, werden bei der maschinellen Anwendung dieser *Methode der finiten Elemente* beschriftet. Dabei erfolgen alle Bearbeitungsabschnitte, von der Elementintegration über die Lösung der globalen Steifigkeitsbeziehung bis hin zur Auswertung der Freiheitsgrade, als On-Line-Prozeß im Computer: der Schlüssel für den Erfolg und die Verbreitung dieser Vorgehensweise.

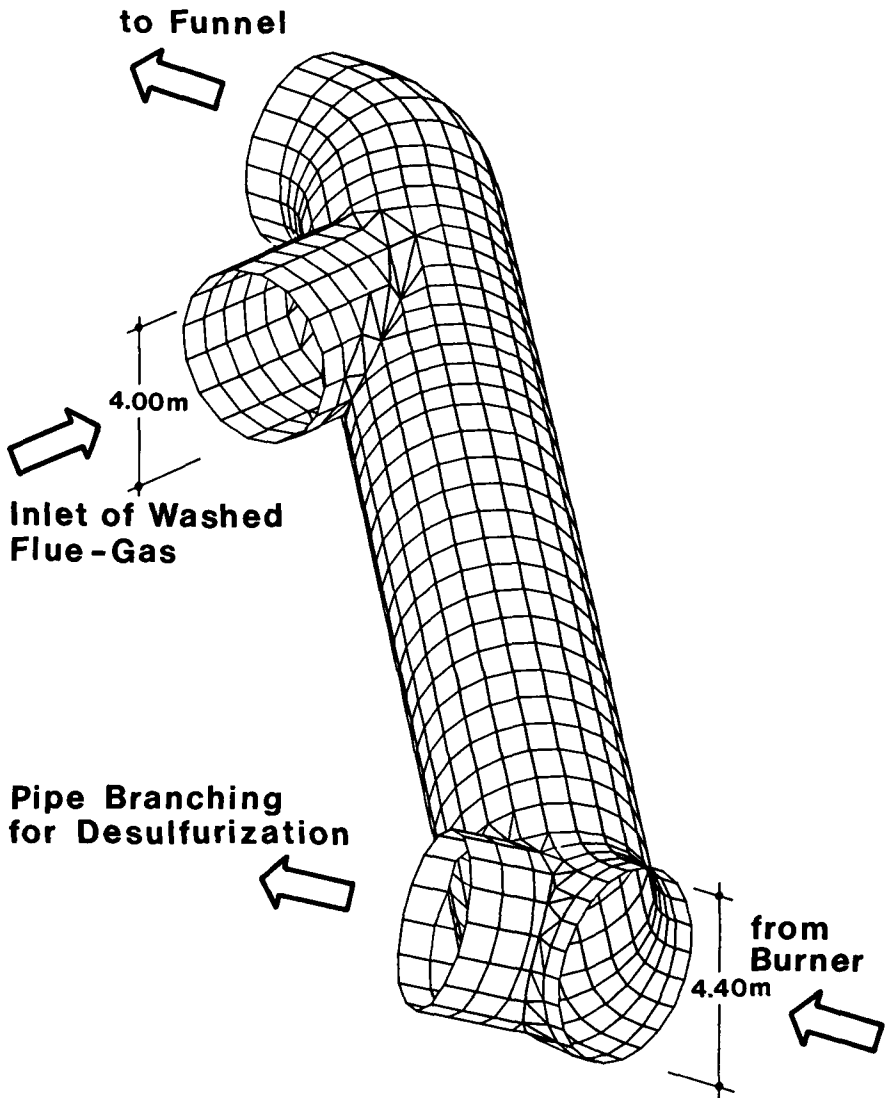


Bild 4:
Teil des Rauchgaskanals eines Kraftwerks

Im folgenden soll die Anwendung dieser Methode auf Spannungsanalysen skizziert werden. Das erste Beispiel behandelt den stählernen Rauchgaskanal eines Kraftwerks, an welchen nachträglich Zu- und Ableitungen der Rauchgas-Entschwefelungsanlage anzuschließen waren. Die an den Rohrverschneidungen auftretenden Zusatzspannungen erforderten dort Blechverstärkungen und Zusatzrippen zur Gewähr ausreichender Sicherheit. Bild 4 zeigt die Gesamtdiskretisierung, der ein einfaches *Scheiben-Platten-Element* zugrundeliegt, Bild 5 eine überhöhte Darstellung der berechneten Knoten-

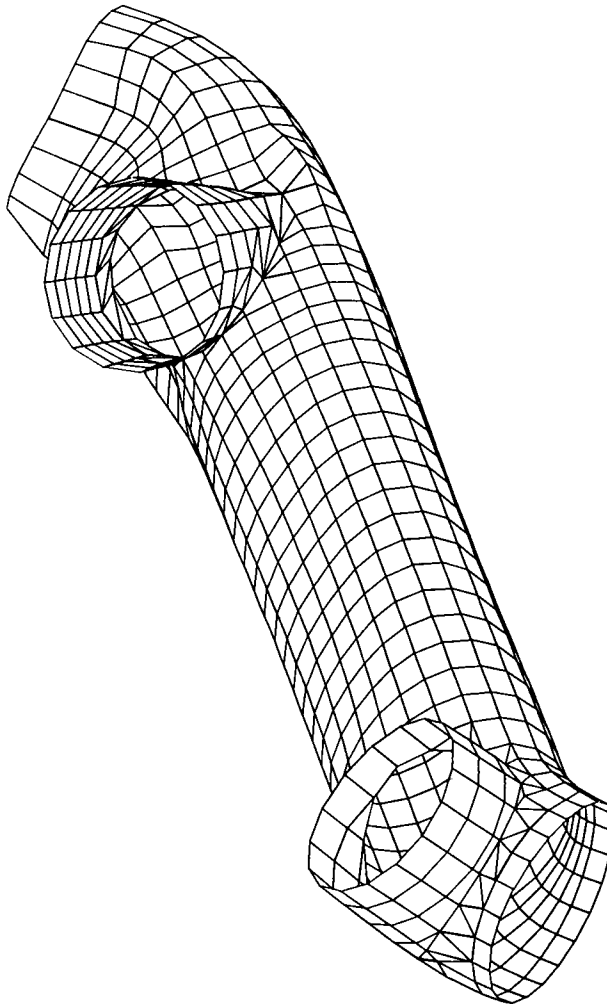
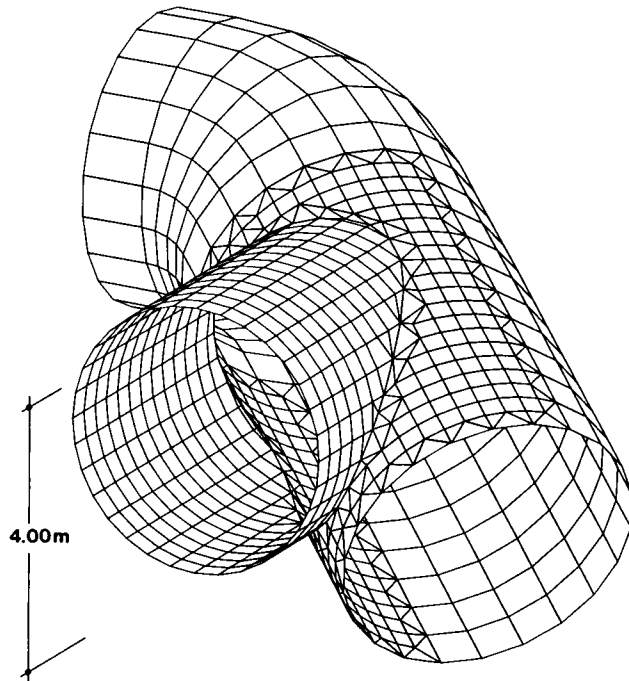


Bild 5:
Windverformungen des Rauchgaskanals von Bild 4



*Bild 6:
Ursprüngliches und verdichtetes Netz*

verformungen unter Windbelastung in linearer Interpolation. Für die Spannungsnachweise in den Öffnungsbereichen waren verdichtete Diskretisierungen erforderlich, um die gewünschte Genauigkeit zu erzielen: Bild 6 zeigt Teile des ursprünglichen und das verdichtete Elementnetz.

Das zweite Beispiel behandelt die Einleitung gewaschener Rauchgase in einen Naturzugkühlturm. Die Diskretisierung mit beträchtlich leistungsfähigeren Schalenelementen [4] findet sich auf Bild 7, dort ist ebenfalls die erforderliche Netzverdichtung im Störungsbereich deutlich zu erkennen. Bild 8 gibt erneut die berechnete, unter Wind verformte Konfiguration in starker Überhöhung wieder, Bild 9 die entstehenden Meridiankräfte im Einleitungsbereich.

Somit wäre für diese Problemklasse die Kernfrage nach dem Beitrag computerorientierter Elementverfahren zur Steigerung der Tragwerkssicherheit folgendermaßen zu beantworten: Ist die Tragwerkssicherheit allein aus dem *Spannungszustand* heraus beurteilbar, so sind finite Elementmethoden vorteilhaft anwendbar. Sie gestatten die Berechnung beliebig komplizierter Strukturen, und ihre Ergebnisse sind durch Anwendung höherer Elemente bzw. dichter Netze beliebig detaillierbar.

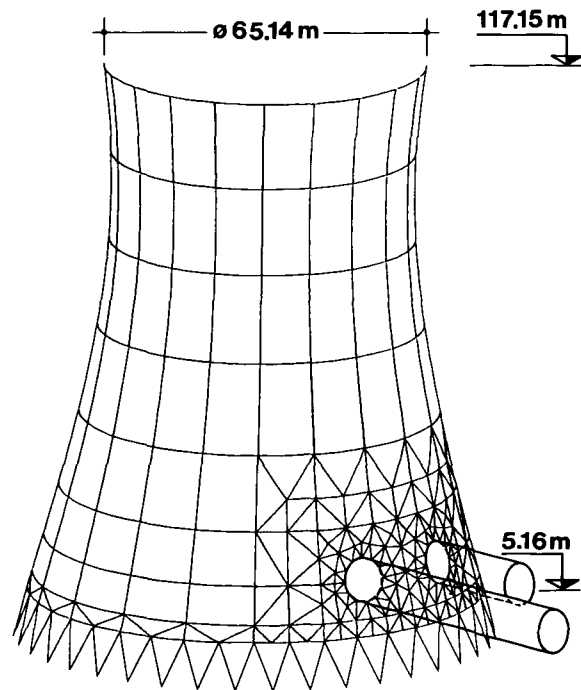


Bild 7:
Diskretisierter Naturzugkühlturm mit Rauchgaseinleitung

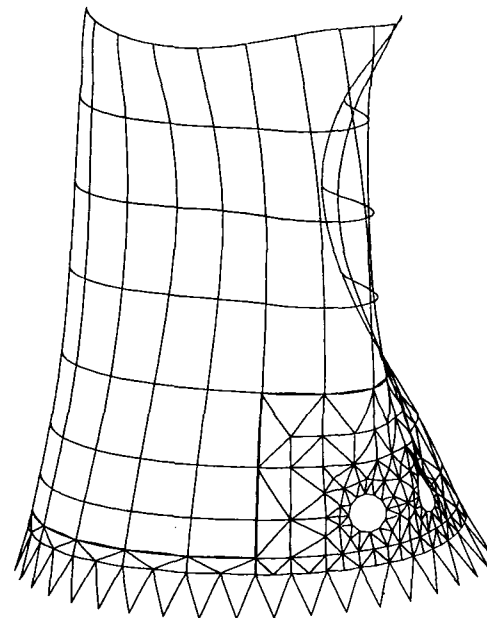


Bild 8:
Windverformter Naturzugkühlturm

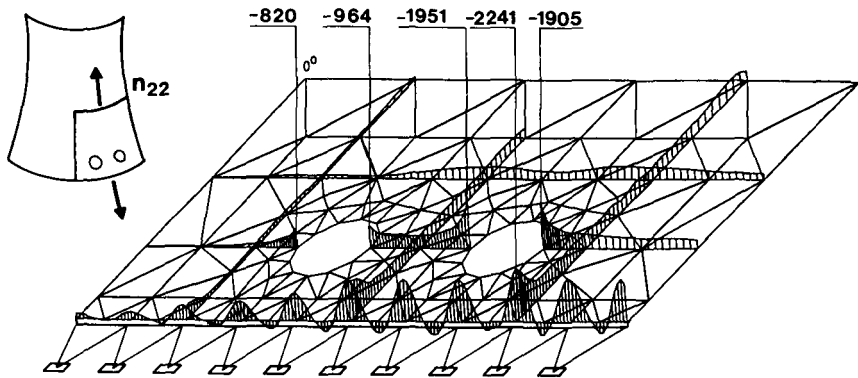


Bild 9:
Meridiankräfte im Einleitungsbereich

3. Tragwerksinstabilitäten und Stabilisierungsanalysen

Was verstehen wir unter Tragwerksinstabilitäten? Zur Erläuterung denken wir uns einen sehr flachen Dreibock, dessen Stäbe in einem zentralen Knoten gelenkig miteinander sowie gelenkig mit ihren Fundamenten verbunden seien. Das Tragwerk werde zentral durch eine vertikale Einzellast P beansprucht.

Steigert man nun P und registriert die sich hierbei einstellende, korrespondierende Durchbiegung V als *Last-Verformungspfad*, so wächst V überproportional bis zu einem Punkt P_D, V_D mit horizontaler Tangente an: dem *Durchschlagspunkt*. Bei diesem schlägt der Dreibock in einem dynamischen Prozeß in seine zur Ausgangskonfiguration spiegelbildliche Form durch. Erfolgt dieses Durchschlagsphänomen ohne weitere Schädigung, so können danach zusätzliche Laststeigerungen im sog. *Nachbeulbereich* erfolgen.

Auf diesem Wege zum Durchschlagspunkt wachsen die Stabkräfte in den drei Stäben stark an. Erreichen sie ihre jeweiligen *Knicklasten*, die je Stab unterschiedlich sein mögen, so zweigen bei jedem Ausknicken *sekundäre* Pfade vom *ursprünglichen* Last-Verformungspfad ab. Erst im stabilen Nachbeulbereich münden diese wieder in den Primärpfad ein. Nach Durchlaufen eines *nichtlinearen* Last-Verformungspfades kann der Dreibock somit im *Durchschlagspunkt* seinen Zustand *stabilen* Gleichgewichts verlassen und vorübergehend *instabil* werden, dies ist zusätzlich beim Passieren jedes *Verzweigungspunktes* möglich.

Ein derartiges Tragwerk ist dadurch gefährdet, daß ein erreichtes Lastniveau durch kleinste Störungen – Imperfektionen, Querlasten – auf tieferliegende Lastniveaus anderer Verzweigungspfade zurückspringen kann. Diese Fähigkeit zu sprunghaften Wechslen würde natürlich bei gleicher, aufgebracht Last zum Kollaps führen. Instabilitätsphänomene an druckbeanspruchten Konstruktionen sind wegen möglicher *sprungartiger* Deformationswechsel, also fehlender Vorwarnmechanismen, in hohem Maße sicherheitsgefährdend.

Wie können nichtlineare Last-Verformungspfade und zugehörige Instabilitätsphänomene, zunächst in einer quasistatischen Betrachtungsweise, numerisch behandelt werden? Ausgangspunkt ist das nichtlineare Gesamtpotential, das eine zu (2) sehr ähnliche Form besitzt [5]. Hierin sind jedoch mindestens die Verzerrungen ϵ *nichtlinear* mit den Verschiebungen \mathbf{u} verknüpft (siehe auch die kinematischen Beziehungen der Bilder 2 und 3):

$$\epsilon = (\mathbf{D}_{kL} + \mathbf{D}_{kN}(\mathbf{u})) \mathbf{u}. \quad (9)$$

\mathbf{D}_{kL} bezeichnet hierin den bekannten linearen Differentialoperator, \mathbf{D}_{kN} einen von den Verschiebungskomponenten \mathbf{u} und deren kovarianten Ableitungen abhängigen *nichtlinearen* Operatoranteil. Nun inkrementiert man das Verschiebungsfeld

$$\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \dot{\mathbf{u}}, \quad (10)$$

zerlegt es also

- in ein als bekannt angesehenes Feld $\bar{\mathbf{u}}$, das einem Gleichgewichtszustand angehören möge, und
- ein unbekanntes, inkrementelles Verschiebungsfeld $\dot{\mathbf{u}}$.

Alle weiteren Diskretisierungsschritte erfolgen völlig analog denjenigen des linearen Falles, gleiches gilt für die Stationaritätsbedingung des Gesamtpotentials. Statt (8) ist das Ergebnis die *tangentiale Steifigkeitsbeziehung*, ein lineares Gleichungssystem nunmehr für die globalen Freiheitsgrade \mathbf{V} der diskretisierten Verschiebungsinkremente:

$$(\mathbf{K}_e + \mathbf{K}_{gL} + \mathbf{K}_{gN} + \mathbf{K}_{uL} + \mathbf{K}_{uN}) \mathbf{V} = \mathbf{K}_t \mathbf{V} = \mathbf{P}_e - \mathbf{P}_i. \quad (11)$$

Hierin entspricht \mathbf{K}_e der bekannten (linearen) globalen Steifigkeitsmatrix \mathbf{K} ; \mathbf{K}_g ist die *geometrische Steifigkeitsmatrix* und \mathbf{K}_u die Anfangs-Verschiebungsmatrix. Die mit $L(N)$ indizierten Teilmatrizen hängen linear (quadratisch) vom Verschiebungsfeld \mathbf{V} ab. \mathbf{P}_e bezeichnet die globalen Knotenkräfte eines erreichten Lastniveaus, \mathbf{P}_i die zugehörigen inneren Gleichgewichtskräfte, die bis zu kubische Abhängigkeiten von \mathbf{V} aufweisen.

Mit Hilfe der tangentialen Steifigkeitsbeziehung (11) können beliebige nichtlineare Last-Verformungspfade numerisch simuliert werden. Da ein linearer Algorithmus wie (11) von einem gekrümmten Pfad notwendigerweise divergiert, existieren *Iterations-techniken* [6], um nach einer Lastinkrementierung erneut den exakten Pfad, natürlich im Rahmen gesetzter Genauigkeiten, zu erreichen. Daher spricht man insgesamt von *inkrementell-iterativen* Lösungsalgorithmen nichtlinearer Elementverfahren.

Bemerkenswert ist nun, daß alle *Instabilitätsmöglichkeiten* längs eines solchen nichtlinearen Pfades als Eigenschaften in der symmetrischen, tangentialen Steifigkeitsmatrix \mathbf{K}_t gespeichert sind. Durch Dreieckszerlegung

$$\mathbf{K}_t = \mathbf{L}^T \mathbf{D} \mathbf{L} \quad (12)$$

können aus der Diagonalmatrix \mathbf{D} folgende Verhaltensweisen eines Punktes des Last-Verformungspfades prognostiziert werden:

- alle $D_{ii} > 0$: \mathbf{K}_I positiv definit:
Stabiles Gleichgewicht.
- mind. ein $D_{ii} = 0$: \mathbf{K}_I singulär:
Kritisches Gleichgewicht, d. h. Durchschlags- oder Verzweigungspunkt.
- mind. ein $D_{ii} < 0$: \mathbf{K}_I indefinit:
Labiles Gleichgewicht.

Allein durch kontinuierliche Observation von \mathbf{K}_I während des Berechnungsprozesses lassen sich somit inherente Instabilitäten der Struktur entdecken und zugehörige Sekundärpfade verfolgen.

Das skizzierte Konzept soll erneut anhand zweier Problemstellungen aus der Praxis erläutert werden. Bild 10 zeigt einen Tank für flüssiges Erdgas, bestehend aus dem Spannbetonsicherheitsbehälter, einer Kälteisolation sowie dem Innentank. Dieses als ringversteifte Edelstahlschale konstruierte Tragwerk ist im ungefüllten Zustand durch sein Eigengewicht und die Isolation druckbeansprucht und damit beulgefährdet. Bild 11 gibt eine mögliche, durch Verzweigen des primären Pfades entstandene Beulform wieder, in welcher im wesentlichen das untere Tankfeld in 34 Umfangswellen ausbeult. Das Verhalten dieses nunmehr mit Vorbeulen behafteten Tankfeldes bei Erhöhung der Axiallasten zeigt Bild 12: Zunächst durchläuft es einen Durchschlagspunkt mit Lastabfall; im tiefen Nachbeulbereich springt der Last-Verformungspfad dann zusätzlich zweimal auf tieferliegende Sekundärpfade.

Das zweite Beispiel behandelt das *Innendach* der alten Kongreßhalle Berlin, das nach dem Einsturz und Abbruch der beiden Randbereiche vom ursprünglichen Dach

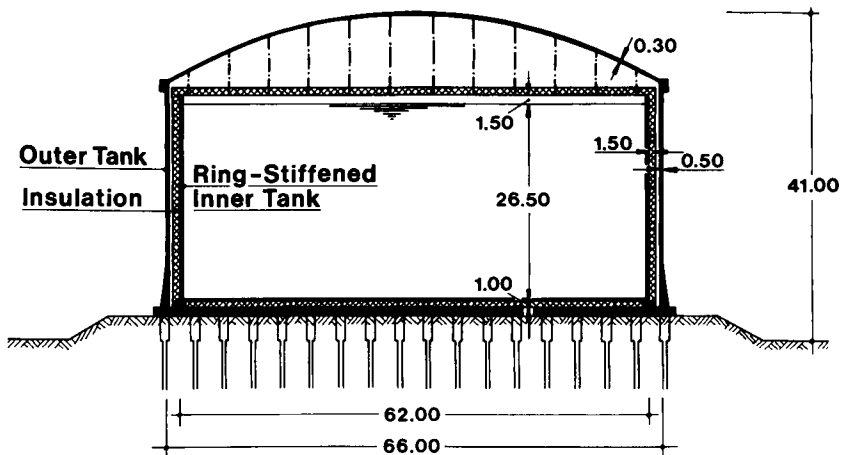
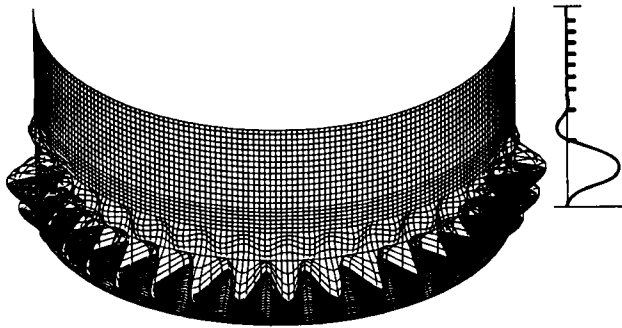


Bild 10:
Schnitt durch einen LNG-Liquid Natural Gas-Tank



$$N = 34, \lambda_c = 4.4$$

Bild 11:
Beulform des Innentanks

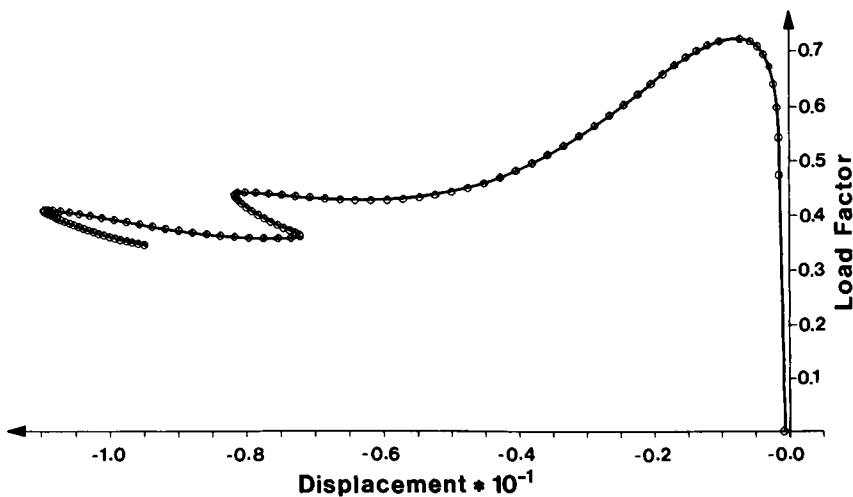


Bild 12:
Last-Verformungspfad eines Tankfeldes unter Axiallast

verbliebene Resttragwerk. (Das neue Spannleichtbetondach überspannt zwischen den neuen Randbögen dieses alte Dach [7]). Hier stellte sich die Frage, ob das Innendach den Frischbeton einer erforderlichen Verstärkung rüstungsfrei abtragen könne, ohne in Form der auf Bild 14 wiedergegebenen Beulfigur auszuweichen, wie dies eine Näherungsberechnung vorhersagte. Die mit besonderer Sorgfalt und unter Beachtung vorhandener Imperfektionen durchgeführten Analysen bewiesen, daß Laststeigerungen um mehr als das sechsfache Eigengewicht ohne Stabilitätsgefährdung möglich waren.

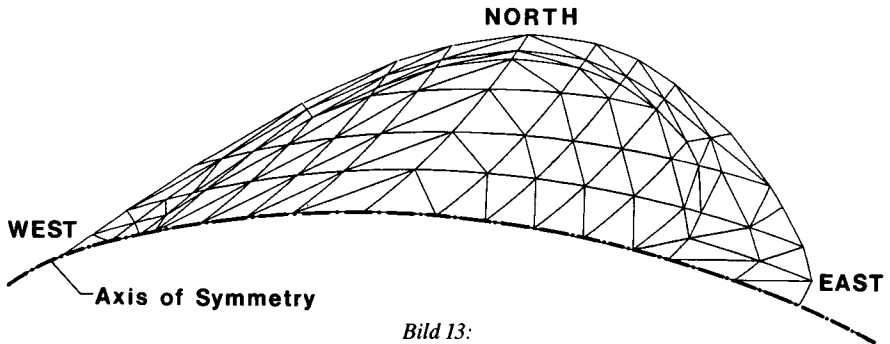


Bild 13:
Diskretisierung des Innendaches der Kongreßhalle Berlin

Loadfactor: 3.55

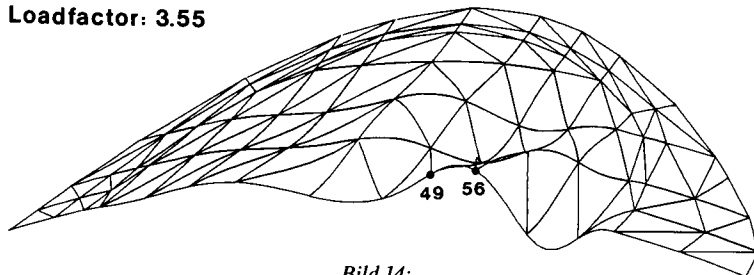


Bild 14:
1. Beulform nach der klassischen Näherung

Zwar mußten gemäß Bild 15 große Deformationen erwartet werden, aber keine Instabilitäten.

Bei der Untersuchung von Stabilitätsphänomenen an Flächentragwerken ist die im Titel aufgeworfene Frage nach der Bedeutung der Elementmethoden für die Tragwerkssicherheit besonders einfach zu beantworten: ohne sie wären wirklichkeitsnahe, nichtlineare Analysen bei komplexen Tragwerksgeometrien unmöglich, und die Bauingenieure müßten ihre Sicherheitsaussagen auf Näherungsberechnungen gründen.

4. Zeitvariante Prozesse

Der Parameter *Zeit* ist bei vielen Festigkeitsproblemen allgegenwärtig und bedeutsam, auch wenn Zeiteinflüsse häufig im Sinne quasistatischer Analyseverfahren unterdrückt werden. Sind jedoch *zeitvariante* Lasten, Materialeigenschaften oder Topologien dominant, so wird eine echte *dynamische Analyse* unumgänglich: zu den Steifigkeitswirkungen treten Massen- und Dämpfungseinflüsse. Statt der globalen Steifigkeitsbeziehung (8) ist nun die diskretisierte Form der Bewegungsgleichungen

$$\mathbf{M}\mathbf{V} + \mathbf{C}\mathbf{V} + \mathbf{K}\mathbf{V} = \mathbf{P}(t) \quad (13)$$

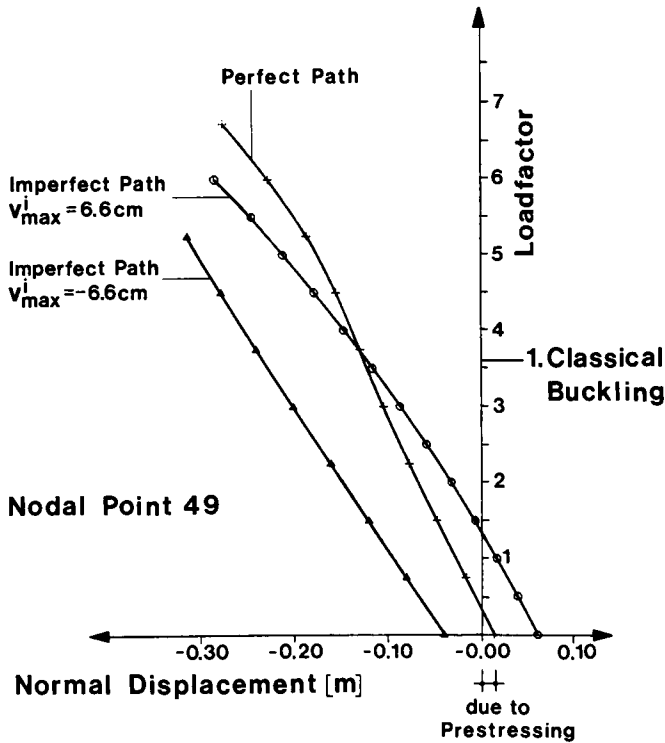


Bild 15:

Last-Verformungspfad des Innendaches unter Eigenlast und Vorspannung

zu behandeln, die zweckmäßigerweise auch in der Zeitkoordinate t diskretisiert wird. In (13) kürzt \mathbf{M} die Massen- und \mathbf{C} die Dämpfungsmatrix ab. Eine zu (11) korrespondierende, *tangentiale Bewegungsgleichung* ist ebenfalls ohne Schwierigkeiten angebar [8]. In jedem zeitlichen Teilintervall ist damit ein numerisches Anfangsrandwertproblem zu lösen, wobei Knotengeschwindigkeiten und Knotenbeschleunigungen als Anfangsgrößen an das folgende Zeitintervall weitergegeben werden.

Ohne auf die vielfältigen Möglichkeiten der Zeitintegration im einzelnen einzugehen [9], [10], soll abschließend das auf Bild 16 dargestellte *dynamische Stabilitätsproblem* behandelt werden. Dabei handelt es sich um ein axial belastetes, zylindrisches Schalenfeld. Dessen Randbelastung bestehe aus einer zeitinvarianten Grundlast p_s und der mit der Kreisfrequenz Ω pulsierenden Komponente p_D : das Problem einer sog. *Parametererregung*. Derartige Systeme besitzen die Eigenschaft, daß sie für bestimmte Verhältnisse der Erreger- zur Eigenfrequenz sowie zugeordnete Lastverhältnisse stabil schwingen, für andere dagegen *dynamisch instabil* werden.

$R = 83.33 \text{ m}$
 $a = 10.00 \text{ m}$
 $t = 0.1 \text{ m}$
 $E = 3.4 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$
 $\nu = 0.2$

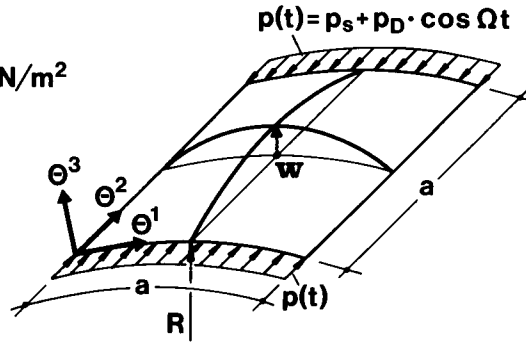


Bild 16:
 Axial belastetes zylindrisches Schalenfeld

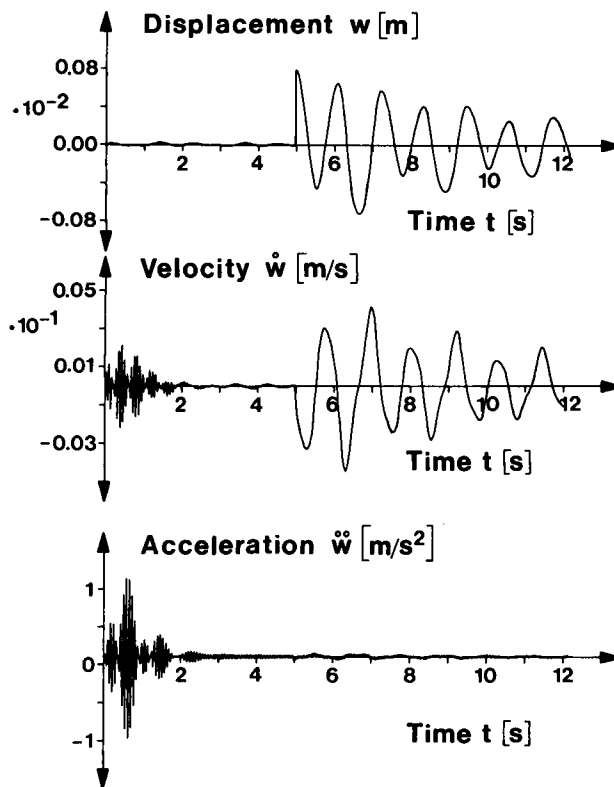


Bild 17:
 Mittendurchbiegung: Zeitverlauf einer Störung bei stabilem Schwingungsverhalten

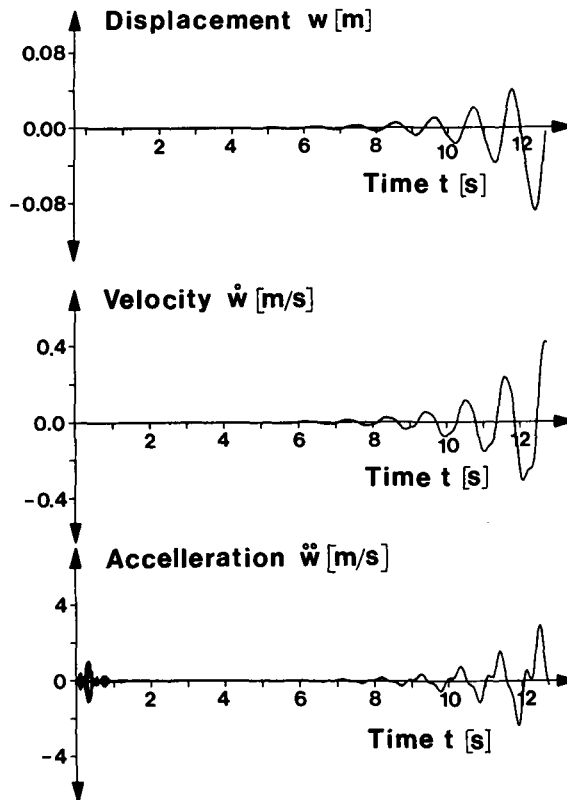


Bild 18:

Mittendurchbiegung: Zeitverlauf einer Störung bei instabilem Schwingungsverhalten

Stabilität oder Instabilität eines Schwingungszustandes wurde durch Aufbringen und zeitliche Verfolgung einer Störung im Sinne der ersten Modalform untersucht. Auf den Bildern 17 und 18 ist der Zeitverlauf der zentralen Normalverschiebung dargestellt, zunächst für einen stabilen, sodann für einen instabilen Schwingungszustand. Man erkennt deutlich das Herausdämpfen der Störung nach wenigen Perioden des ersten Falles, im zweiten Fall dagegen deren Anfachung.

5. Schlußbemerkung

Der Beitrag sollte dem Leser einen Einblick in den Stand computerorientierter Festigkeitsanalysen für Flächentragwerke vermitteln. Gerade bei diesen Tragwerken haben die Elementmethoden Möglichkeiten zu revolutionären Qualitätsverbesserungen der Berechnungsergebnisse geschaffen. Dank dieser Methoden können heute beliebig komplexe Strukturen unter vielfältigen Einwirkungen und Werkstoffverhal-

tensweisen wirklichkeitsnah simuliert werden, wodurch zweifelsohne signifikante Steigerungen der Tragwerkssicherheit, d.h. spürbar sicherere und zuverlässigere Konstruktionen, erreichbar geworden sind.

Literatur

- [1] Tonti, E.: On the Formal Structure of Physical Theories. Istituto di Matematica del Politecnico di Milano, 1975.
- [2] Basar, Y., Krätzig, W.B.: Mechanik der Flächentragwerke. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 1985.
- [3] Ritz, W.: Über eine neue Methode zur Lösung gewisser Variationsprobleme der mathematischen Physik. Journal für Mathematik (Crelle) 135 (1909), 1.
- [4] Harte, R., Krätzig, W.B.: Tensor-orientierte Formulierung nichtlinearer, finiter Schalenelemente. Ingenieur-Archiv 56 (1986), 114.
- [5] Krätzig, W.B., Wittek, U., Basar, Y.: Buckling of general shells – theory and numerical analysis. Thompson, J.M.T., Hunt, G.W. (ed.): Collapse, Cambridge University Press, Cambridge 1983, 377.
- [6] Riks, E.: An Incremental Approach to the Solution of Snapping and Buckling Problems. Int. J. Solids Structures 15 (1979), 529.
- [7] Kuehl, G., Bomhard, H.: Wiederaufbau der Kongreßhalle Berlin – Die Bauaufgabe und ihre Lösung. Beton- und Stahlbetonbau 81 (1986), 22.
- [8] Basar, Y., Eller, C., Krätzig, W.B.: Finite element procedures for parametric resonance phenomena of arbitrary elastic shell structures. Computational Mechanics 2 (1987), 89.
- [9] Bathe, K.-J., Wilson, E.L.: Numerical Methods in Finite Element Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1976.
- [10] Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method. 3rd revised and expanded edition. McGraw-Hill Book Company, London 1983.

Möglichkeiten und Grenzen von Diskretisierungsverfahren bei der Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Automobil-Reifen*

Von **Heinrich Rotherth**, Universität Hannover

Herr Präsident!

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Liebe Kollegen!

Es ist ziemlich genau zehn Jahre her, als mich der Technische Vorstand eines bedeutenden deutschen Industrieunternehmens vor die Entscheidung stellte, ob ich als Gutachter in einem großen Strafprozeß tätig werden wolle. In diesem Verfahren gehe es um die Aufklärung der Ursache für eine Vielzahl von Verkehrstoten, die nach Meinung der Staatsanwaltschaft auf das Konto falsch konstruierter Automobil-Reifen zurückzuführen seien.

Da ich zu diesem Zeitpunkt, wie die Mehrzahl der hier Anwesenden, nicht viel mehr wußte, als daß die meisten Reifen schwarz sind und daß jeder Pkw über vier Reifen an den Achsen und über einen Ersatzreifen im Kofferraum verfügt, erschien mir meine Frage, wie man gerade auf mich käme, durchaus berechtigt. „Nun“, hieß es, „als Schüler des berühmtesten deutschen Schalenfachmanns, Professor Zerna, und selbst ausgewiesen durch eine Vielzahl von Veröffentlichungen und ausgeführten Bauwerken auf diesem Gebiet, müssen Sie ja wohl *Schalen* berechnen können – und Reifen sind schließlich nichts anderes als Schalen! Zum anderen machen Sie gerade die Bauüberwachung für das größte Siedewasser-Kernkraftwerk der Welt in Krümmel bei Hamburg, und so sind Sie ja wohl mit der Problematik von Sicherheit und Restrisiko bestens vertraut.“

Sie werden sich fragen, meine Damen und Herren, warum ich Ihnen dies erzähle; nun, zum einen, um mich in der Trilogie der heutigen Vorträge, die sich mit der Anwendung und Auswirkung moderner Berechnungsverfahren auf Konstruktionen befassen, fachlich einzuordnen, und zum zweiten, um meine tiefempfundene Verehrung meinen wissenschaftlichen Leitbildern, den Herren Argyris und Zerna, auszudrücken, ohne deren Einfluß auf meinen beruflichen Werdegang ich sicherlich nicht Mitglied dieser Akademie geworden wäre. Vielleicht ist es mehr als ein Zufall, daß der Name des einen mit A und der des anderen mit Z beginnt – alle anderen müssen gemäß der Reihenfolge des Alphabets dazwischen liegen, ausgenommen der heute zu ehrende Kollege Zienkiewicz, der im Alphabet geringfügig weiter außen liegt.

* Gekürzte Fassung eines Vortrags, der im Rahmen der die Feierliche Jahresversammlung begleitenden öffentlichen wissenschaftlichen Vortragsveranstaltung am 12. 6. 1987 gehalten wurde.

Der Hauptgrund meines Hinweises auf den spektakulären Reifenprozeß, an dem übrigens auch der hier anwesende Kollege Stein als Gutachter erfolgreich teilnahm, liegt zum einen darin, daß ich Sie, meine verehrten Zuhörer, für einen Augenblick daran erinnern möchte, daß es den absolut sicheren Reifen auch heute noch nicht gibt. Zum anderen wurde meines Wissens bei diesem Prozeß von Herrn Stein und mir erstmalig bei einer Reifenberechnung die Methode der finiten Elemente, die sogenannte FEM, angewendet, an deren Entwicklung und Einsatz bei Ingenieurkonstruktionen die Kollegen Argyris und Zienkiewicz maßgeblich beteiligt waren und die ja bekanntlich zu den Vätern der FEM gehören. Aber ich möchte der heutigen Laudatio nicht vorgreifen.

Und was hat ein Statik-Ordinarius mit der Reifenberechnung zu tun? Nun, erstens hat mir Professor Zerna vom ersten Tag meiner Assistententätigkeit bei ihm klar gemacht, daß ein guter Bauingenieur jedes Problem lösen kann. Zum anderen handelt es sich beim rollenden Reifen wahrscheinlich um die komplizierteste Schalenstruktur, also gerade um die Herausforderung für jemanden, der sich mit solchen Strukturen

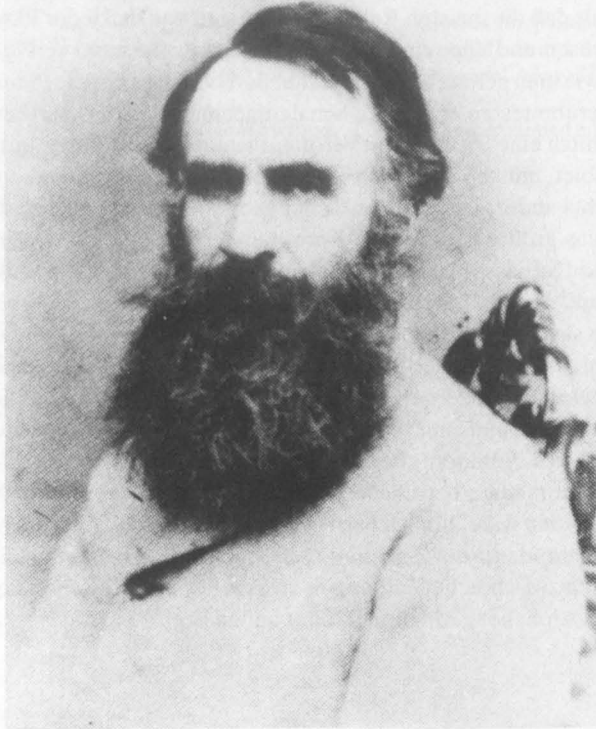


Abb. 1:
Robert William Thomson (1822–1873)

befaßt. Und schließlich hatte ich das Glück, nach dem gewonnenen Reifenprozeß sowohl von der Reifenindustrie als auch vom Bundesforschungsministerium umfangreiche Forschungsmittel für die Weiterentwicklung von Reifen, insbesondere auf dem Gebiet der Reifenberechnung, zu erhalten.

Leider sterben auch heute noch viele Menschen an den Folgen versagender Reifen. Und da dies wegen der weiten Verbreitung des Pkws praktisch jedem zustoßen kann, erscheint es mir wichtig, Sie in der gebotenen Kürze über die Möglichkeiten und Grenzen von Diskretisierungsverfahren bei der Berechnung zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Automobil-Reifen zu unterrichten.

Die ältesten bekannten Aufzeichnungen über die Verwendung von gummiähnlichen Körpern finden wir in Ägypten aus der Zeit um 700 v. Chr. Es handelt sich dabei um die in Stein gemeißelten Bilder von mit springenden Bällen spielenden Knaben. Von den Indianern Mittel- und Südamerikas sind uns ähnliche Darstellungen aus dem 13. Jahrhundert, also 2000 Jahre später, überliefert. Etwa zur selben Zeit wird in Italien vom Universalgenie Leonardo da Vinci (1452–1519) das Prinzip von der Komprimierbarkeit der Luft formuliert und über die Wirkungsweise diskutiert, wie dies im Codex Leicester nachzulesen ist.

Es vergingen aber noch über 300 Jahre, bis der Amerikaner C. Goodyear 1839 durch Zufall die positive Wirkung von Schwefel auf Gummi bei hohen Temperaturen

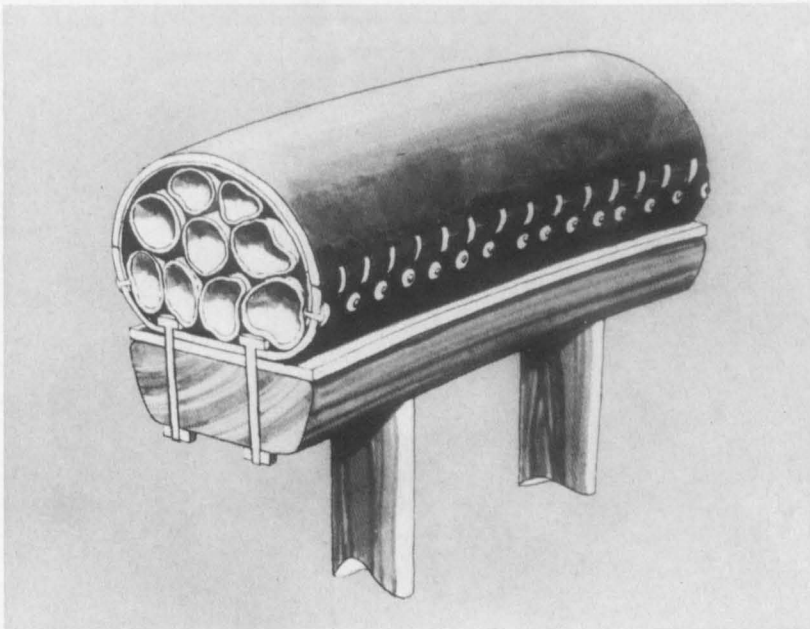


Abb. 2:
Aerial Wheel nach Thomson

entdeckte. Nach dem altitalischen Gott des Feuers Vulcanus nannte er seine Entdeckung Vulkanisation.

Wenige Jahre später machte dann der schottische Eisenbahn-Ingenieur R. W. Thomson (Abb. 1) die für die Reifenentwicklung wichtigsten Erfindungen. Bereits in seinem britischen Patent Nr. 10990 von 1845 steht

„The nature of my said Invention consists in the application of elastic bearings round the tires of the wheels of carriages, for the purpose of lessening the power required to draw the carriages, rendering their motion easier, and diminishing the noise they make when in motion.“

Selten wurden so viele brillante Ideen in nur 46 Wörtern ausgedrückt. Dem von ihm entwickelten „aerial wheel“ (Abb. 2) blieb jedoch der wirtschaftliche Erfolg versagt.

Fast 50 Jahre später erst wurden von dem in Nordirland tätigen schottischen Tierarzt J. B. Dunlop (Abb. 3) 1888 der Fahrrad-Luftreifen (Abb. 4) und 1895 der Automobil-



Abb. 3:
John Boyd Dunlop (1840–1921)

Luftreifen erfunden, oder genauer gesagt, der Fahrradreifen wurde ohne Kenntnis von Thomsons Arbeiten wieder erfunden.

Es begann also alles erst vor 100 Jahren. Und ich möchte unter Anspielung auf das Heimatland der verehrten Gattin unseres heutigen Ehrengastes betonen, daß beide Erfinder Schotten waren.

Zur selben Zeit konstruierten die Gebrüder A. und E. Michelin (Abb. 5) 1895 den ersten Automobil-Luftreifen in Frankreich und B.F. Goodrich 1896 in den USA – notabene 10 Jahre, nachdem C. Benz 1886 mit dem ersten Automobil durch Mannheim fuhr. Im Jahr 1899 durchbricht Jenatzky mit seinem Elektro-Fahrzeug „La Jamais Contente“ („die nie Zufriedene“) die 100-km/Std-Grenze auf Michelin-Reifen mit dehnbaren Wülsten (d.h. ohne Drahtkern). In dieser Zeit betrug der Preis für eine normale Bereifung mehr als 25% des Kaufpreises des Autos, und ihre Lebensdauer lag bei etwa 1000 km.

Vieles ist in diesen knapp 90 Jahren getan worden, um die Leistungsfähigkeit des Automobil-Reifens zu verbessern, worauf ich aber aus Zeitgründen heute nicht eingehen kann. Andererseits stehen wir möglicherweise an der Schwelle zu einer revolutionären Veränderung des Rad-Reifen-Systems. Da es sich hierbei einerseits um eine deutsche Erfindung handelt und ich andererseits das Glück habe, an dieser Entwicklung ein ganz klein wenig mitzuwirken, möchte ich für meine weiteren Ausführungen diesen neuen Reifentyp in den Mittelpunkt rücken.

Sie alle kennen Autoreifen – aber auch im Querschnitt? Heute hat der Radialreifen (Abb. 6) den Diagonalreifen fast vollständig verdrängt. Wie geht es weiter? Was man in

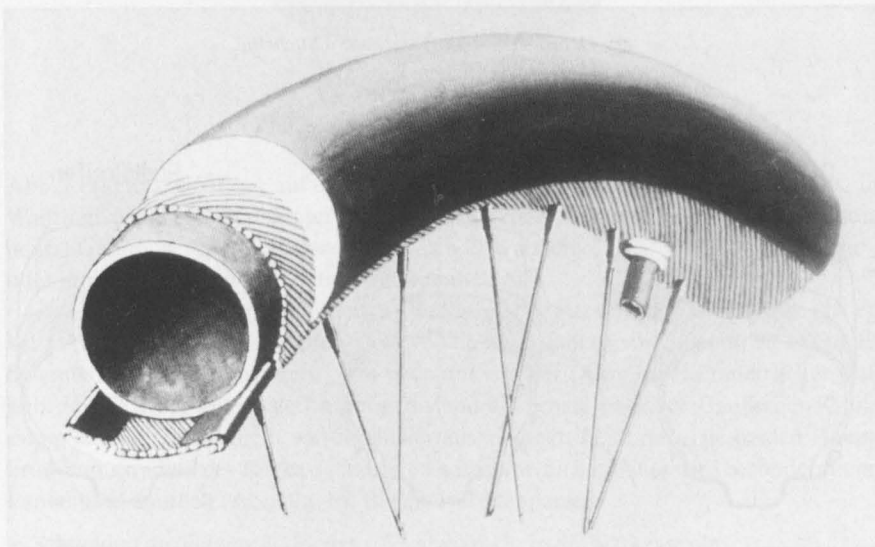


Abb. 4:
Dunlops „Mummy“-Reifen

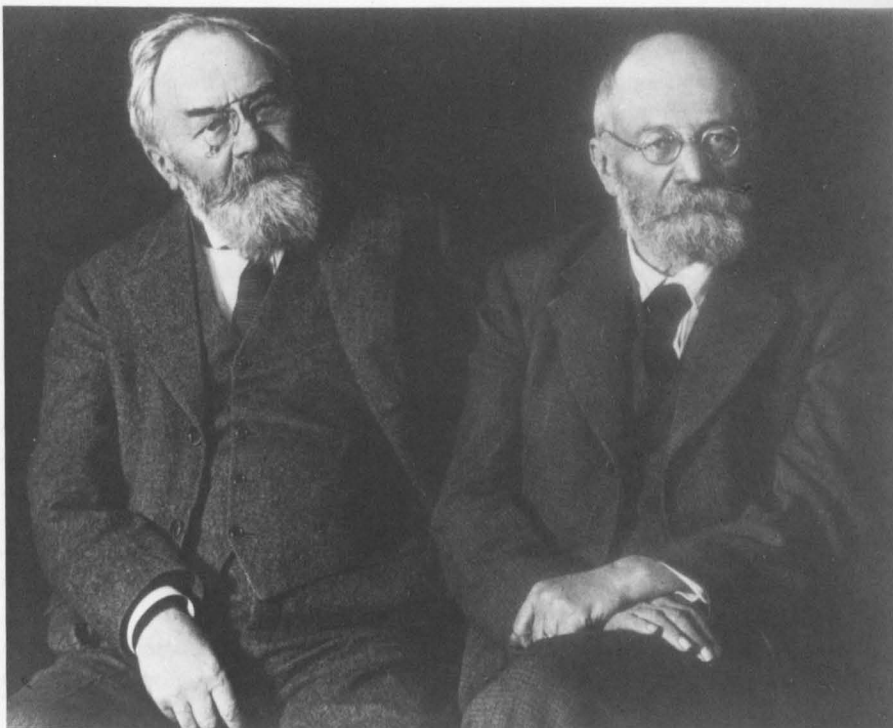
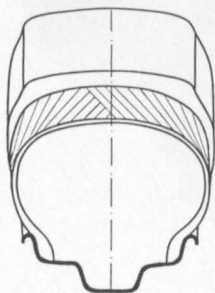
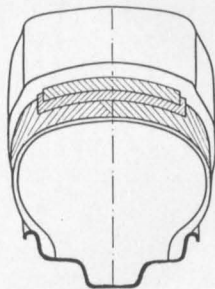


Abb. 5:
Die Gebrüder Edouard und André Michelin

Diagonalreifen



Semigürtelreifen



Radialreifen

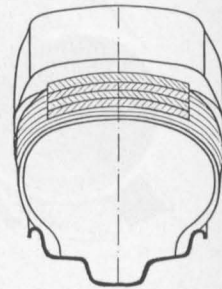


Abb. 6:
*Prinzip-Skizzen für Grundtypen der zeitiger Reifen
(Aufbau im Querschnitt)*



Abb. 7:
Ansicht des neuen Rad-Reifen-Systems CTS

Abb. 7 erkennt, sieht nur auf den ersten Blick wie ein handelsüblicher Reifen aus. In Wahrheit verbirgt sich dahinter eine revolutionäre Neuentwicklung der Firma Continental Gummiwerke AG, die wahrscheinlich 1988 als sog. „CTS“ („Conti-tire-system“) oder „InTegral-Reifen“ auf den Markt kommen wird.

Im Vergleich des konventionellen Reifens (Abb. 8a) mit dem CTS (Abb. 8b) erkennt man, daß der neue Reifen nicht von außen, sondern von innen in die ebenfalls neuentwickelte Felge eingreift. Das bedeutet von der Differentialgeometrie her, daß sich der CTS bei jedem Verformungszustand als Schale positiver Gaußscher Krümmung darstellt. Allgemein verständlicher ausgedrückt, heißt das: Die beiden Hauptkrümmungsradien der Karkasse haben dasselbe Vorzeichen. Dies wird besonders beim Pannelauf deutlich (Abb. 9a, b). Bei einer Reifenpanne

- schneiden die Felgenreänder des CTS nicht mehr in die Karkasse ein,
- vielmehr läuft die Felge als zweigeteilte Walze wie auf einer Raupenkette,
- die seitliche Karkasse berührt nicht mehr den Boden,

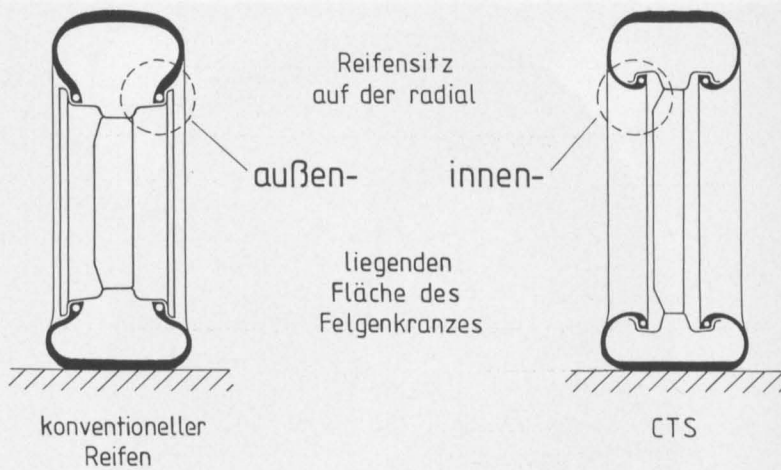


Abb. 8:
Querschnitt von konventionellem Reifen und CTS, Prinzip-Skizze

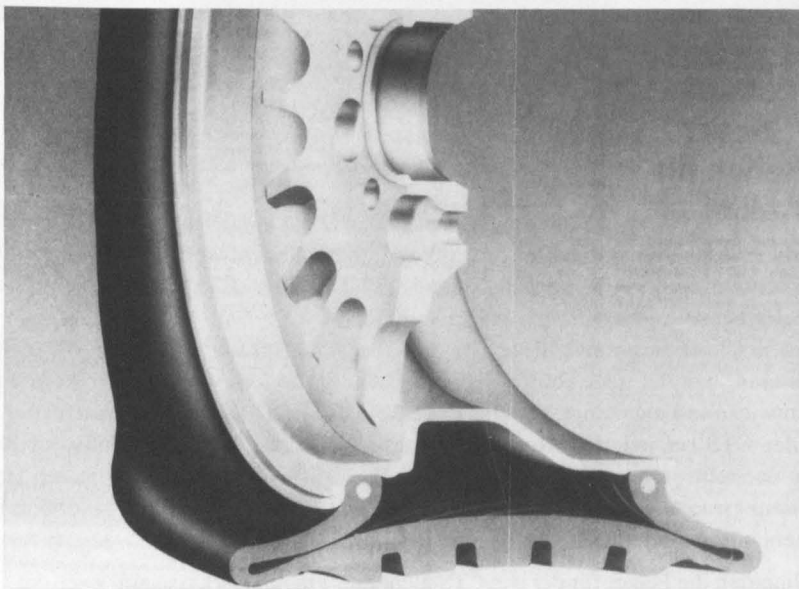


Abb. 9a:
Pannenlauf des konventionellen Reifens

so daß bei Pannenlauf, z.B. bei Tempo 80 km/h derzeit bis zu 400 km sicher weitergefahren werden kann.

Ein Traum des Autofahrers geht in Erfüllung! Er kann in Zukunft auf das fünfte Rad am Wagen verzichten. Der Reservereifen könnte zukünftig überflüssig werden.

Dennoch reicht dieser unübersehbare Vorteil des CTS gegenüber herkömmlichen Reifen wahrscheinlich noch nicht aus, um die Konkurrenz aus dem Felde zu schlagen und den Käufer nachhaltig zu überzeugen. Auch andere Reifeneigenschaften, wie geringer Rollwiderstand, gutes Verhalten beim Aquaplaning oder Langlebigkeit, müssen hinzukommen. Mit anderen Worten, die Leistungsfähigkeit des Reifens muß zusätzlich gesteigert werden.

So brillant die Grundidee der Conti-Ingenieure ist, so dornenreich ist der Weg bis zum großtechnischen Einsatz des neuen Rad-Reifen-Systems. Trotz der gebotenen Eile bei der Entwicklung und der volkswirtschaftlichen Bedeutung des neuen Reifentyps stehen nach wie vor an oberster Stelle der gesellschaftlichen Erwartungswerte an den verantwortungsbewußten Ingenieur Sicherheit und Zuverlässigkeit seiner Konstruktion. Dieser Forderung wird beim CTS dadurch entsprochen, daß neben die konstruktive Entwicklung und die versuchsmäßige Erprobung eine umfangreiche theoretisch-numerische Bearbeitung tritt.

Meine Aufgabe bestand und besteht darin, theoretisch abgesicherte Berechnungsmodelle zu entwickeln und Rechenprogramme zu erstellen, um die Konstrukteure bei der Formgebung und Konstruktion des neuen Rad-Reifen-Systems zu beraten. Lang-

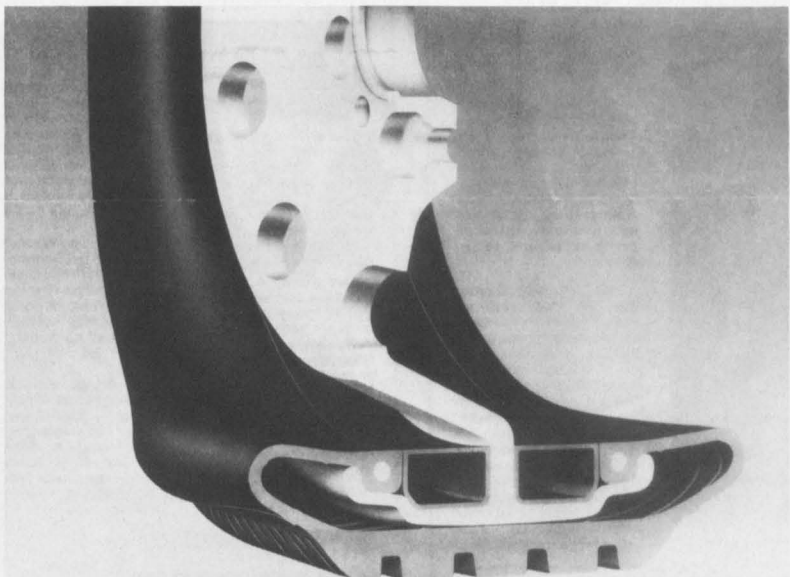


Abb. 9b:
Pannenlauf des CTS-Reifens

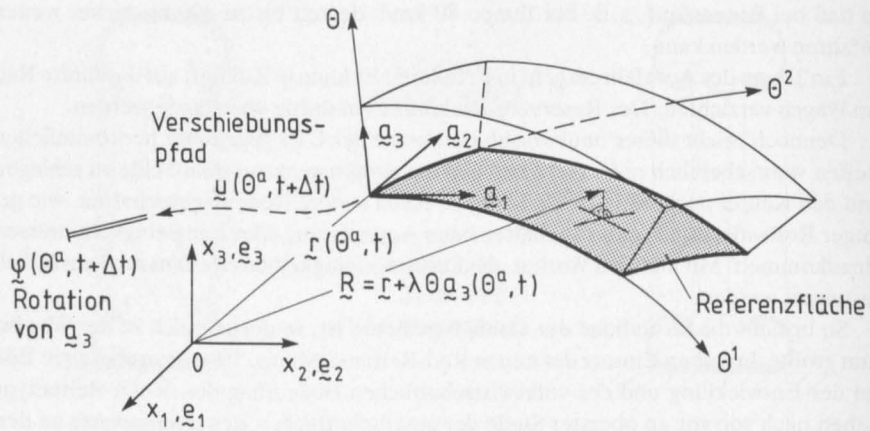


Abb. 10:
Kontaktproblem-orientierte Schalentheorie

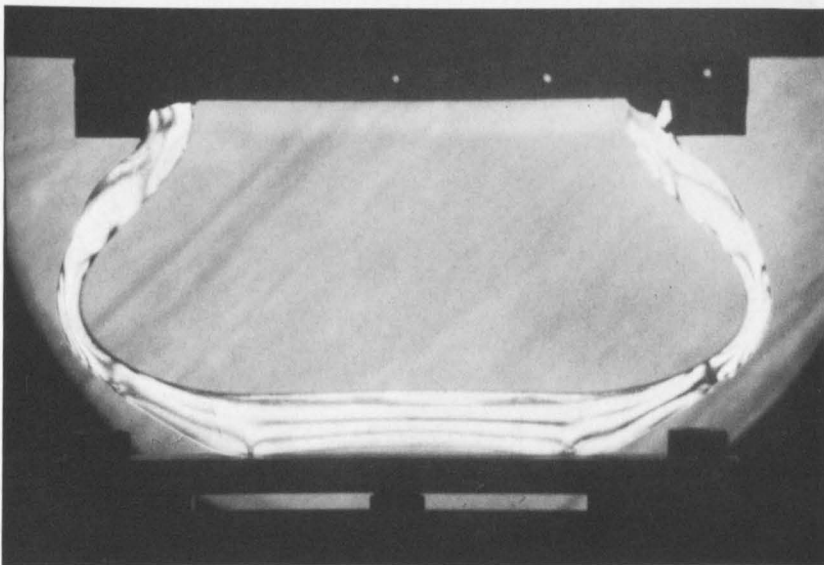


Abb. 11:
Spannungsoptische Untersuchung eines Reifenabschnitts aus Polyuräthan

wierige Testserien an teuren Prototypen sollten reduziert, Fehlversuche möglichst vermieden und der im wesentlichen interessierende Spannungs- und Verformungszustand des neuen Reifens vorab bekannt sein.

Ein Zerna- und Pflüger-Schüler besinnt sich bei solcher Aufgabenstellung auf die Schalentheorie. Die bekannte Formulierung bei baustatischen Problemen wird auf die zunächst wesentlichste Fragestellung: Wie verhält sich die Reifenschale in der Aufstandsfläche? umgeschrieben (Abb. 10 u. [1]).

Richtscheema für meine Vorgehensweise bei dieser komplexen Aufgabe war und ist die von I. Newton formulierte Erkenntnis, daß ein begrenztes, überschaubares Experiment häufig besser ist als die umfassende Hypothese.

Bei der Beurteilung der vorzunehmenden Modellbildung war die spannungsoptische Untersuchung an einem Reifenabschnitt aus Polyuräthan hilfreich (Abb. 11). Unter dem Gesichtspunkt üblicher Spannungsverteilungen in Schalen raubte mir dieses Ergebnis an einem homogenen, zweidimensionalen Problem bereits die ersten Illusionen auf schnelle Ergebnisse mit herkömmlichen Rechenprogrammen. Der tatsächliche Reifenaufbau mit seinen etwa 50 verschiedenen Materialkomponenten (in Abb. 12 sind nur die wesentlichsten dargestellt), wobei die Haupt-Komponenten Stahl, Kunstfaser und Gummi jeweils um mehrere Zehnerpotenzen bei ihren Elastizitätsmoduli auseinanderliegen, macht einen Bauingenieur sehr bescheiden. Er erkennt in diesem Augenblick, warum z.B. die Maschinenbauer so viel von Empirie und so vergleichsweise wenig vom Berechnen halten.

Das Globalverhalten (vgl. Abb. 13) des nur durch Innendruck belasteten Reifens läßt sich bereits mit den Mitteln der Stabstatik (Abb. 14) in erster Näherung zufriedenstellend beantworten.

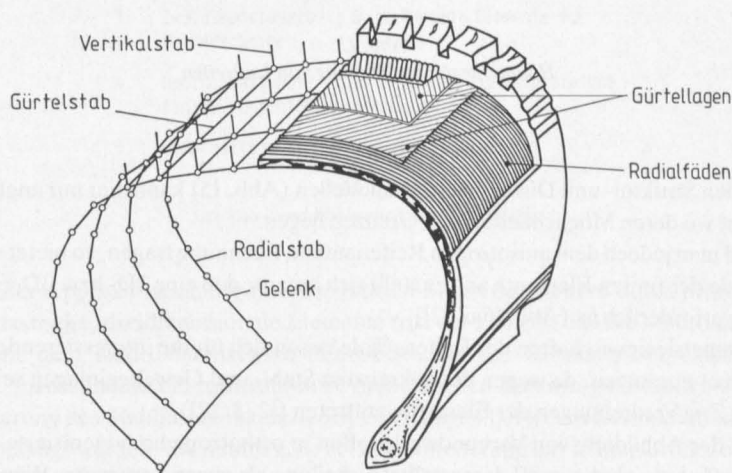


Abb. 12:
Reifenaufbau, Ersatzmodell

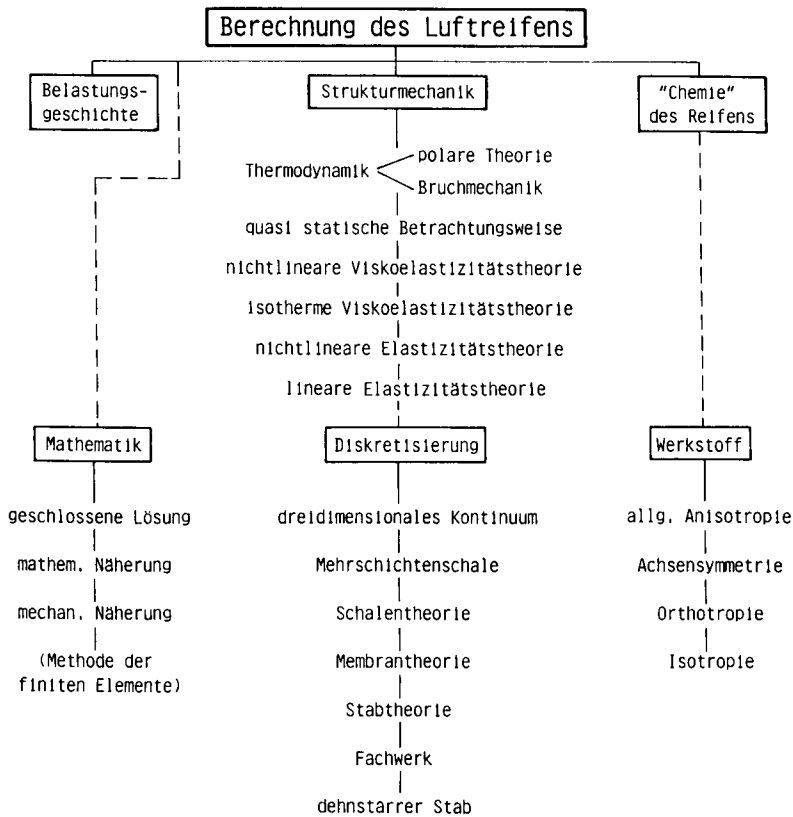


Abb. 13:
Hierarchie der Berechnung von Luftreifen

In den Struktur- und Diskretisierungsmodellen (Abb. 15) kann hier nur angedeutet werden, wo deren Möglichkeiten und Grenzen liegen.

Will man jedoch dem anisotropen Reifenaufbau Rechnung tragen, so bietet sich die Methode der finiten Elemente an. Es stellt sich heraus, daß eine 2D- bzw. 3D-Elementierung erforderlich ist (Abb. 16 u. [2]).

Symmetrieeigenschaften der Reifenschale lassen sich für die interessierenden Lastfälle nicht ausnutzen, da wegen der gekreuzten Stahl- und Gewebeeinlagen selbst bei reinem Zug Verdrehungen der Elemente auftreten ([2, 3, 12]).

Bei der Abbildung von Verbundwerkstoffen in orthotrope homogenisierte Ersatzwerkstoffe hat sich die in [4] dargestellte Aufteilung als günstig erwiesen. Wünschenswerte Verfeinerungen des Maschennetzes oder eine Erhöhung der Lagenanzahl sind von heutigen Großrechnern noch nicht zu verkraften.

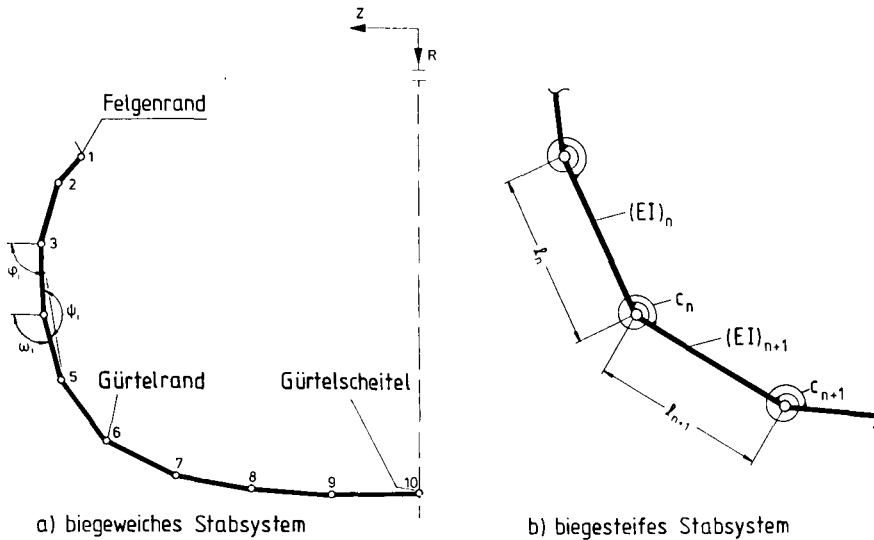


Abb. 14:
Ersatzstab-Modelle

1. Polygonales Stabmodell ohne Drehfedern,
Stabmodell für Schalen-Membrantheorie
2. Polygonales Stabmodell mit Drehfedern,
Stabmodell für Biegetheorie ohne Drillsteifigkeit
3. Zweidimensionale (z.B. 4 Knoten) Elemente für
Reifenscheibe
4. Dreidimensionale (z.B. 8 Knoten) strukturgleiche
finite Verschiebungselemente
5. Kombination von 3D- und 2D-Elementen

Abb. 15:
Struktur- und Diskretisierungs-Modelle

Bei der Approximation der faserverstärkten Lagen des Reifens durch orthotrope, linear elastische, dreidimensionale Elemente tritt der Fall ein, daß die Materialachsen nicht mit dem Koordinatensystem der Geometrie des Elements übereinstimmen ([2, 4]). Insbesondere bei nichtrotationssymmetrischen Belastungszuständen darf die Veränderung des Stahlfaserwinkels in den Gürtellagen bei jedem Lastinkrement nicht vernachlässigt werden. Sie nimmt z.B. bei der Einfederung um 15 mm Größenordnungen von 15 bis 20% an. Es mußte also ein Algorithmus in das am Institut entwickelte Programmsystem PROTECH [5] implementiert werden, der die belastungsabhängigen Änderungen der Faserwinkel in jedem Element individuell erfaßt.

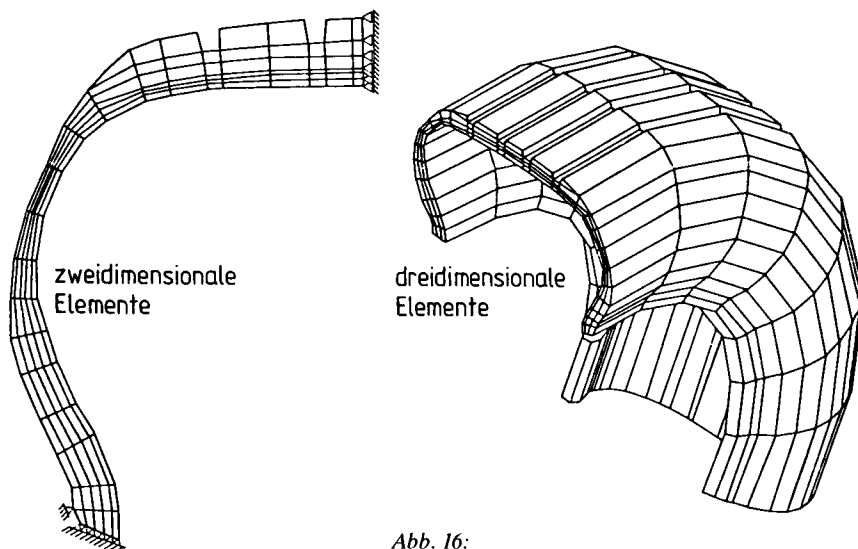


Abb. 16:
Finite-Element-Modelle für Automobil-Reifen

Weitere Hauptprobleme stellen die richtige Diskretisierung und die Rück-Homogenisierung bzw. die Rück-Diskontinuierisierung dar. Selbst die feinste und sorgfältigste Diskretisierung läßt bei der Rück-Diskontinuierisierung am realen Reifen keine verwertbaren Schlüsse auf die Beanspruchung einzelner Fäden und Litzen zu. Dies gilt auch für Aussagen über die Haftspannungen zwischen Fäden und Gummi unter Beachtung thermischer und wiederholter Beanspruchung bei sich ändernden Materialdaten.

Ein anderes zentrales Problem bei der Reifenberechnung ist die rechnerische Ermittlung der a priori unbekannten Aufstandsfläche und die Verteilung der in ihr auftretenden mechanischen Druckspannungen. Die Lösung solcher „Kontaktprobleme mit Reibung“ gehörte vor einigen Jahren noch zu den ungelösten Problemen der Mechanik. Vier parallele Dissertationen habe ich auf die Erforschung dieser wichtigen Aufgabe angesetzt ([6, 7, 8, 9]). Bei der ungewöhnlich schwierigen Materie erwies es sich als Glücksfall, daß ich hierfür neben drei Diplomingenieuren der Vertiefungsrichtung Mechanik auch einen Diplommathematiker gewinnen konnte.

Die Qualität und die Effizienz der von uns entwickelten Algorithmen wurden eingedenk des erwähnten Ausspruchs von Newton an eigens für diesen Zweck von der Continental Gummiwerke AG gebauten Spezialreifen im Großversuch getestet. Das Ergebnis rechtfertigte den Aufwand ([8, 9, 10]). Insbesondere konnten einige der bis dahin ausschließlich experimentell auf Trommelprüfständen ermittelten Laufeigenschaften des Reifens vorausberechnet werden. Je nachdem, ob es sich beim Reifentest um Außen- oder um Innentrommeln handelte, wichen die Ergebnisse zwangsläufig mehr oder weniger stark von den wahren Verhältnissen auf ebener Fahrbahn ab. Neben den Druckverteilungen für die Normalspannungen in der konvexen bzw. konkaven

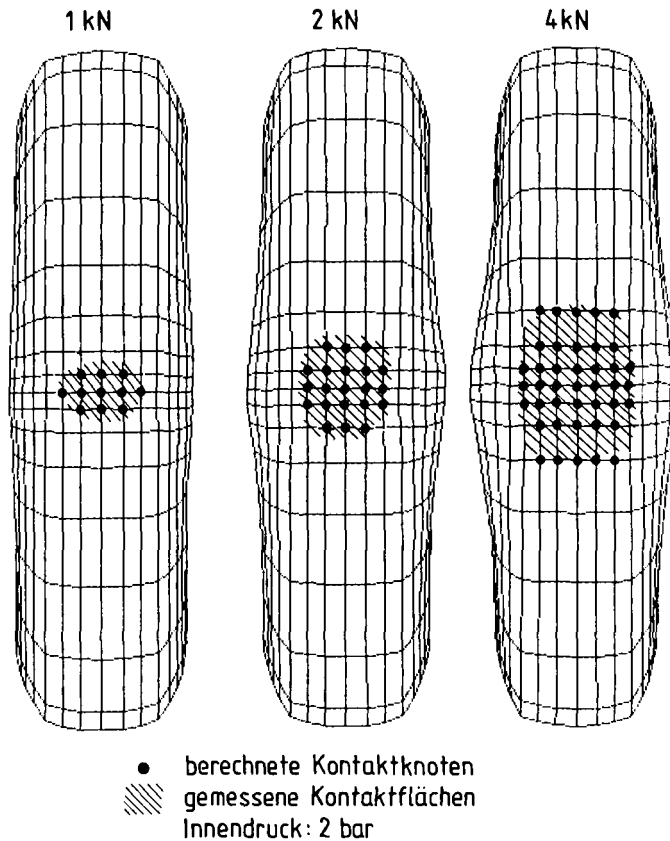


Abb. 17:
Berechnete und gemessene Kontaktflächen

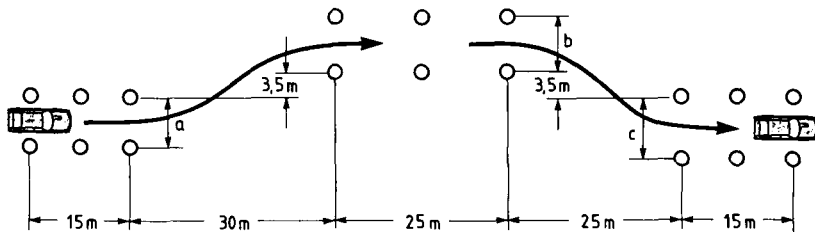
Aufstandsfläche mit den typischen Druck-Gebirgen in den Bereichen der Reifenschulter werden in [8, 10] die asymmetrischen Querschubspannungen und die ebenfalls asymmetrischen Schubspannungen in Laufrichtung des Rades dargestellt. Mit diesen Berechnungen wurde zunächst für die USA eine Entwicklung hin zu ausschließlich horizontal wirkenden Reifenprüfständen theoretisch abgesichert.

Im Vergleich des konventionellen Reifens mit dem neuen CTS (deren seit einigen Jahren übliche farblich dargestellte 3D-FE-Elementierung in der Schriftfassung nicht wiedergegeben werden kann) liegen erste Ergebnisse vor (vgl. [4]). Zunächst ergeben die geometrisch und physikalisch nichtlinearen Berechnungen, daß die Federkennlinie des neuen CTS weicher und die Druckverteilung in der Aufstandsfläche gleichmäßiger ist als beim konventionellen Reifen. Dies bedeutet einen besseren Federungskomfort, höheren Kraftschluß auf nasser Fahrbahn und einen geringeren Rollwiderstand. Die

I Konzept	%	CTS-Verbesserung
● Geringeres Systemgewicht	- 10	■■■■■
● Größerer Einbauraum für Bremse	+ 15	■■■■■
II Gebrauchseigenschaften Normalbetrieb		
● Besserer Federungskomfort	+ 10	■■■■■
● Gleiche Fahrstabilität	± 0	
● Gleiches Lenkverhalten	± 0	
● Höherer Kraftschluß auf nasser Straße		
- Bremsverzögerung, Querschleunigung	+ 10	■■■■■
- Aquaplaning	+ 25	■■■■■
● Gleiche Lebenserwartung	± 0	
● Geringerer Rollwiderstand	- 15	■■■■■
III Gebrauchseigenschaften im drucklosen Zustand		
● Problemloser Pannelauf über mehrere hundert Kilometer		■■■■■

Abb. 18:

Das Entwicklungs-Potential des Conti-Reifen-Systems im Vergleich zum derzeitigen Reifensystem



$$a(b,c) = 1,1 (1,2;1,3) \times \text{Kfz-Breite} + 0,25 \text{ m}$$

Abb. 19:

ISO-Fahrkurs bei doppeltem Fahrspurwechsel

bisherigen Fahrversuche und Tests haben diese Leistungsverbesserung auch quantitativ belegt. Das von der Continental Gummiwerke AG angestrebte Anforderungsprofil (Abb. 18 u. [11]) konnte bisher eingehalten werden.

Wie verhält sich der neue Reifen bei doppeltem Fahrspurwechsel, wenn ein oder mehrere Reifen drucklos sind gegenüber allen Positionen mit Normaldruck? Bei hinten rechts drucklos läßt sich die ISO-Strecke (Abb. 19) statt mit 115 km/h noch mit 100 km/h durchfahren, d.h. auch in solch extremer Pannelauf-Situation bleibt das Auto auch von einem Normalfahrer voll beherrschbar ([11]).

Da für weiter ins Detail gehende Fragen die derzeitige 3D-Elementierung jeden Großrechner aus- bzw. überlastet, mußten wir nach Abhilfe Ausschau halten, um den gesamten Reifen vollständig und feiner elementiert zu analysieren. Mit diesem klaren Ziel war auch der Weg vorgezeichnet. Es mußten Elemente entwickelt werden, die die Vorteile geschichteter 3D-Elemente mit den bekannten Vorzügen einer Schalentheorie vereinigen. Ein solches Schubelastisches 4-Knoten-Schalenelement, das dieses leistet und damit die Anzahl der Knotenfreiheitsgrade gegenüber einer vergleichbaren 3D-Elementierung um 70% vermindert, wurde in [3, 12] vorgestellt.

Ausgehend vom Prinzip der virtuellen Arbeit in inkrementeller Form, werden die Spannungen und die Verzerrungen in zwei (disjunkte) Untermengen eingeteilt. Der Anteil I erfüllt die kinematischen Feldgleichungen in jedem Punkt des Schalenraums exakt. Für den Bestandteil II wird hingegen über das Prinzip der konjugierten virtuellen Arbeiten eine schwache Formulierung der kinematischen Feldgleichungen eingeführt. Man gelangt so zu der Fundamentalbeziehung in Total-Lagrange-Formulierung.

Durch die spezielle Form der gewählten Spannungs-Ansätze können sowohl das die Schubsteifigkeit der Schale überschätzende „shear-locking“ als auch die bei sogenannter reduzierter Integration auftretenden „zero-energy-modes“ verhindert werden. Sämtliche Anteile der Steifigkeits- und Flexibilitätsmatrizen sowie die Vektoren der inneren Kräfte können mittels numerischer Integration über den Reifenkörper in Dickenrichtung berechnet werden.

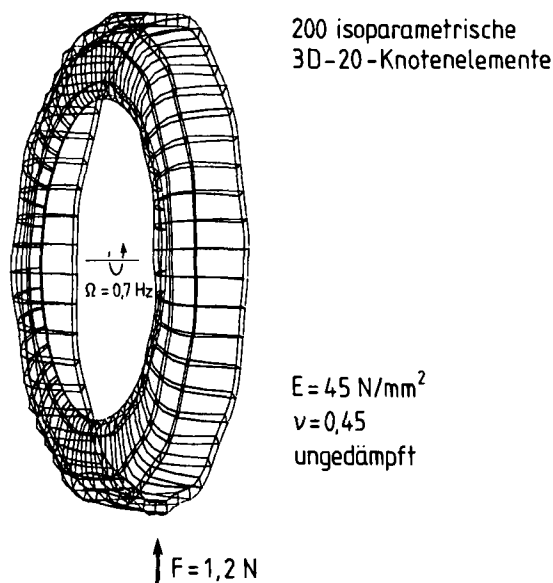


Abb. 20:
Verformung eines rollenden Reifens unter Einzellast

Um die im Pannenlauf des CTS auftretenden Kontaktspannungen des nahezu inkompressiblen Gummireifens sowohl mit der Aufstandsfläche Straße als auch mit der walzenförmigen Felge zu berechnen, wurde in [4] und [13] das Mooney-Rivlin-Materialgesetz verwendet. Man erkennt aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse, daß die mit dem Hookeschen Gesetz ermittelten Werte nicht der Realität entsprechen. Dies ist andererseits auch nicht verwunderlich, da mit dem Mooney-Rivlin-Werkstoffgesetz die auftretenden großen Verzerrungen und großen Rotationen besser erfaßt werden können.

Im Bild 20 werden Berechnungs-Ergebnisse des rollenden Reifens gezeigt. Man erkennt sehr gut die wellenförmige Verformung sowohl in Umfangs- als auch in Radial-Richtung.

Vieles bleibt noch zu tun, bis alle Aspekte des thermodynamisch beanspruchten Reifens gelöst sein werden. Hierfür werden noch viel Ingenieurverstand und Beharrlichkeit erforderlich sein. Oder, um es mit Goethe zu sagen: „Gott gibt uns die Nüsse, aber er beißt sie nicht auf.“

Ich danke Ihnen.

Literatur

- [1] Rothert, H., Zastrau, B.: Herleitung und Anwendung einer kontaktproblemorientierten Schalentheorie. Konstruktiver Ingenieurbau-Berichte 38/39, S. 76–84, Vulkan Verlag Essen, 1981.
- [2] Rothert, H., Gall, R.: On the Three Dimensional Computation of Steel-Belted Tires. Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 14, No. 2, pp. 116–124, 1986.
- [3] Rothert, H., Dehmel, W.: Nonlinear Analysis of Isotropic, Orthotropic and Laminated Plates and Shells. First World Congress on Computational Mechanics, University of Texas at Austin, 1986, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 64, pp. 429–446, 1987.
- [4] Rothert, H., Winkelmann, T., Domscheit, A.: Vergleichende Finite-Element-Berechnungen am Conti-Tire-System und an konventionellen Reifensystemen. BMFT Statusbericht, Entwicklungslinien in Kraftfahrzeugtechnik und Straßenverkehr, S. VII 16–27, Verlag TÜV Rheinland, 1987.
- [5] Rothert, H., Domscheit, A., Winkelmann, T.: PROTECH, ein FE-Programmsystem zur nichtlinearen Berechnung mehrdimensionaler Strukturen. Institut für Statik, Universität Hannover, Stand 1987.
- [6] Jacobi, W.: Das geometrisch nichtlineare Kontaktproblem „Elastischer Körper – starres Hindernis“ bei verformungsabhängiger Belastung als restringiertes Minimalproblem. Mitteilung Nr. 29, Dissertation, Institut für Statik, Universität Hannover, 1983.
- [7] Idelberger, H.: Zur Berechnung des Kontaktproblems „Elastischer Körper und starres Hindernis“ unter Berücksichtigung des Coulombschen Reibungsgesetzes mit Hilfe der Finite-Element-Methode. Mitteilung Nr. 30, Dissertation, Institut für Statik, Universität Hannover, 1984.
- [8] Laging, G.: Zur quasistatischen Berechnung des Deformationsverhaltens von Reifen. Mitteilungen aus dem Institut für Mechanik, Heft 85/3, Dissertation, Universität der Bundeswehr Hamburg, 1985.
- [9] Gall, R.: Zur Berechnung von faserverstärkten Reifen mit der Methode der Finiten Elemente. Dissertation, Institut für Mechanik, Universität der Bundeswehr Hamburg, 1985.

- [10] Laging, G., Rothert, H.: Numerical Results of Tire - Test Drum Interaction. Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 14, No. 3, pp. 160–175, 1986.
- [11] Mauk, G., Reese, Th.: Schwerpunkte bei der Entwicklung des Conti-Reifensystems (CTS). BMFT Statusbericht, Entwicklungslinien in Kraftfahrzeugtechnik und Straßenverkehr, S. VII 3–15, Verlag TÜV Rheinland, 1987.
- [12] Dehmel, W.: Zur nichtlinearen statischen Berechnung isotroper, orthotroper und geschichteter Flächentragwerke nach der Methode der Finiten Elemente. Dissertation, Institut für Statik, Universität Hannover, Fortschritt-Bericht VDI, Reihe 4, Nr. 77, Düsseldorf, 1986.
- [13] Rothert, H.: On the Finite Element Computation of Passenger Car Tires. Proceedings of the International Conference on Computational Engineering Mechanics (ICCEM), pp. 577–582, Beijing, China, 1987.

Quellennachweis:

- Bilder 1 bis 4: aus E. Tompkins, The History of the Pneumatik Tyre, Dunlop Limited 1981
- Bild 5: Fa. Michelin, Clermont-Ferrand, Frankreich
- Bilder 7, 9: Fa. Continental-Gummiwerke AG, Hannover
- Bilder 8, 18, 19: nach [11]
- Bilder 16, 17: nach [9]

Meeresforschung im Computer – neue Einsichten mit Hilfe mathematischer Modelle

Von **Jürgen Sündermann**, Universität Hamburg

1. Ein einführendes Beispiel

In den sechziger Jahren wurden im Atlantis II-Tief des Roten Meeres (etwa 22°N, mehr als 2000 m Wassertiefe, siehe Abb. 1) heiße Quellen und Lagerstätten von erzhaltigen Schlämmen entdeckt. Es entstand die Idee einer Gewinnung dieser mineralischen Rohstoffe. In Zusammenarbeit mehrerer Länder wurden eine Durchführbarkeitsstudie und eine Untersuchung zur möglichen Umweltbelastung angestellt. Insbesondere sollten dabei Aussagen zur langfristigen und großräumigen Ausbreitung rückgeleiteter Restschlämme aus der industriellen Aufbereitung an Land gewonnen werden.

Das vorhandene hydrographische Datenmaterial war sehr gering und inhomogen. Daher wurde das Institut für Meereskunde der Universität Hamburg mit der Erstellung eines dreidimensionalen mathematischen Modells zur Simulation von Zirkulation und Transport der Wassermassen im Roten Meer und deren saisonaler Variabilität betraut.

Einzelheiten dieses Modells können an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden, es sei auf König (1982) verwiesen.

Abb. 2 zeigt ein typisches Ergebnis dieses Modells, nämlich die berechneten Oberflächenströmungen im Winter (Monat Januar). Das Bild dokumentiert den bekannten generellen nordgerichteten Einstrom aus dem Indischen Ozean. Es zeigt aber auch – und das war bis dahin unbekannt – ausgeprägte mesoskalige Strukturen wie Wirbel und Mäander. Diese sind mit starken Querströmungen verbunden, die für die Belastung des Ökosystems mit Schmutzfrachten offensichtlich eine starke Bedeutung haben. Besonders markant ist ein Wirbel von etwa 100–200 km Durchmesser, den das mathematische Modell etwa zwischen 19 und 20°N voraussagt.

Dieser Wirbel war bis dahin nicht beobachtet worden. Es wurde daher die Gelegenheit der Jungfernfahrt des indischen Forschungsschiffes SAGAR KANYA auf dem Wege von Travemünde nach Goa benutzt, um eine flächenhafte Vermessung in diesem Gebiet durchzuführen (siehe Abb. 1).

Ein erstes Ergebnis dieser Meßfahrt zeigt die Abb. 3. Die dort gezeichnete Tiefenlage der 23°C-Isotherme ist thermodynamisch äquivalent mit einem im Uhrzeigersinn drehenden Wirbel zwischen 18 und 19°N, also genau an der richtigen Stelle! Ein schöner Beweis für die Realitätsnähe und die prognostische Aussagekraft des Modells! Dazu muß gesagt werden, daß der Computerlauf einige hundert Mark gekostet hat, während ein Forschungsschiff Zehntausende von Mark pro Tag erfordert.

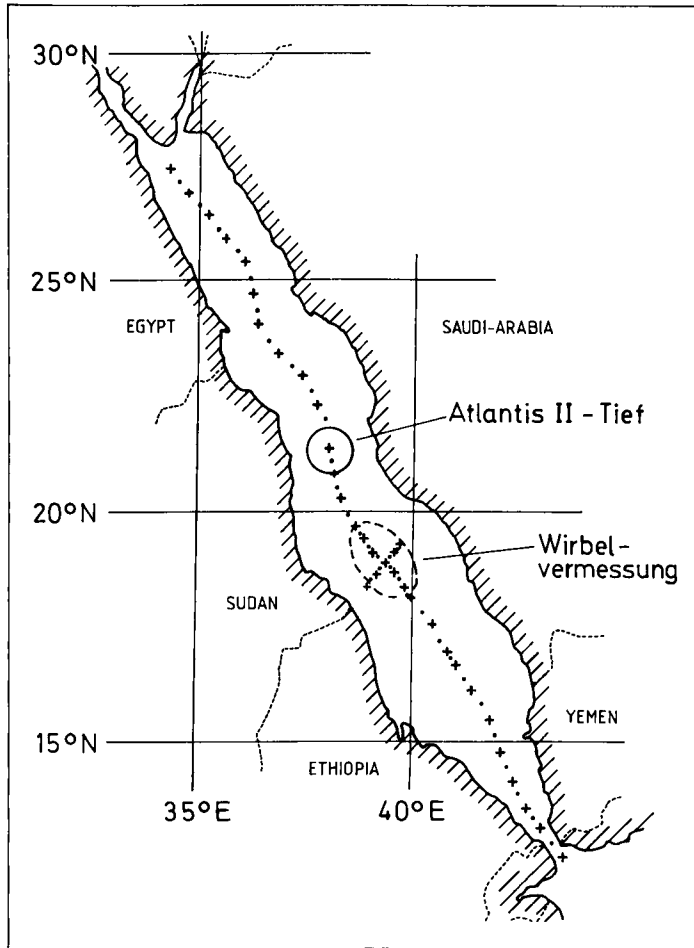


Abb. 1:

Karte des Roten Meeres mit Lage des Atlantis II-Tiefs und des Gebietes der Wirbelvermessung durch das indische Forschungsschiff SAGAR KANYA auf seiner Fahrt im Mai 1983. Die Meßpunkte sind markiert und bedeuten: • XBT (expendable bathythermograph), + CTD (automatische Sonde zur Messung von Salzgehalt, Temperatur und Druck), Wasserprobe.

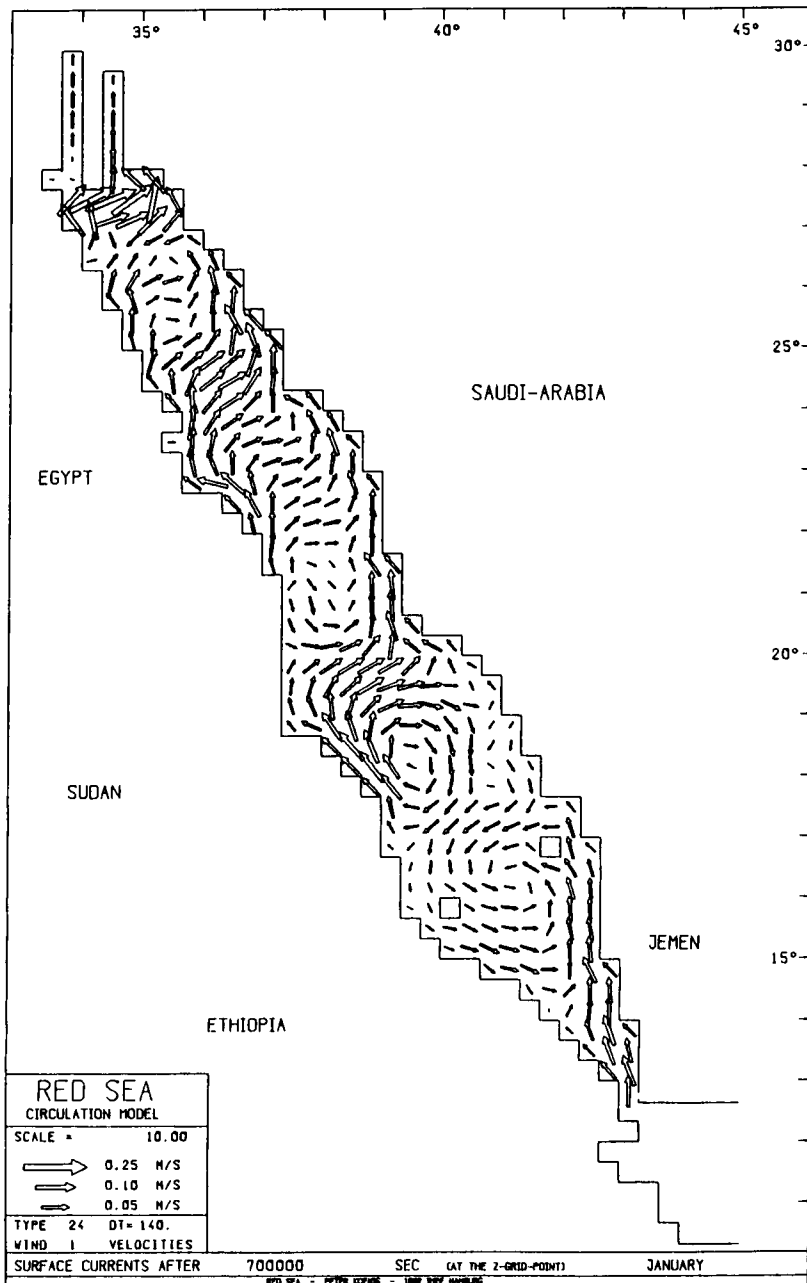


Abb. 2:

Berechnete Oberflächenströmungen des Roten Meeres im Monat Januar. Der horizontale Gitterabstand (Pfeilmittelpunkte) beträgt $1/3^\circ$.

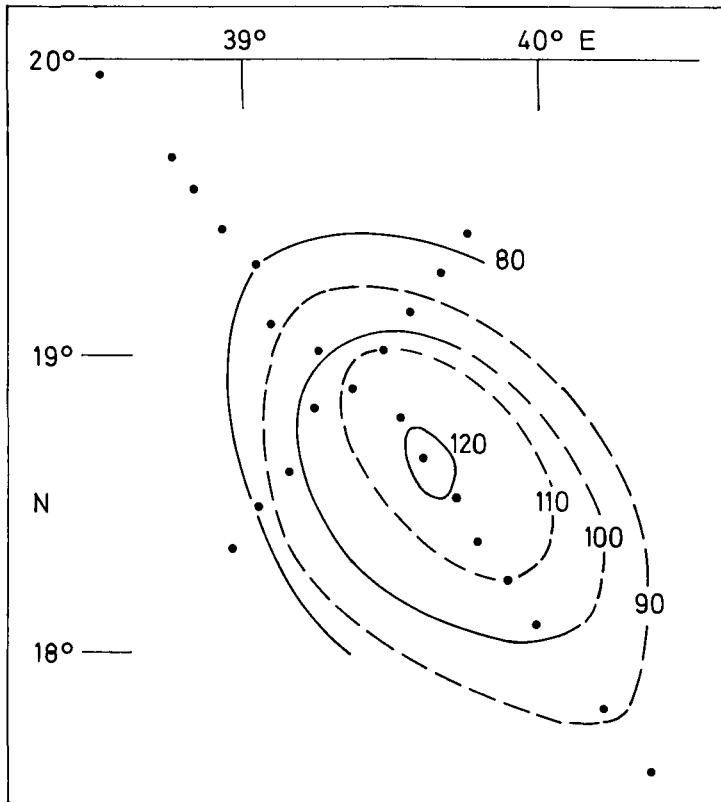


Abb. 3:

*Tiefenlage der 23°C-Isotherme in Metern für das Gebiet 18/19°N und 39/40°E des Roten Meeres.
Die Punkte markieren die Meßpositionen.*

2. Methoden der Meeresforschung

Das einführende Beispiel soll nun nicht besagen, daß der Computer die beobachtenden Methoden der Meeresforschung allmählich ganz ersetzen wird. Es soll aber zeigen, daß eine sinnvolle Synthese von Modellierung und Feldexperiment neue Einsichten bringt und die Effizienz wissenschaftlicher Arbeit erhöht.

Die moderne Meeresforschung umfaßt im wesentlichen drei Methoden

- die konventionelle Beobachtung mit Hilfe von Forschungsschiffen,
- die Fernerkundung der Meeresoberfläche mit Hilfe von Flugzeugen und Satelliten,
- die mathematische Simulation mit Hilfe von elektronischen Großrechenanlagen.

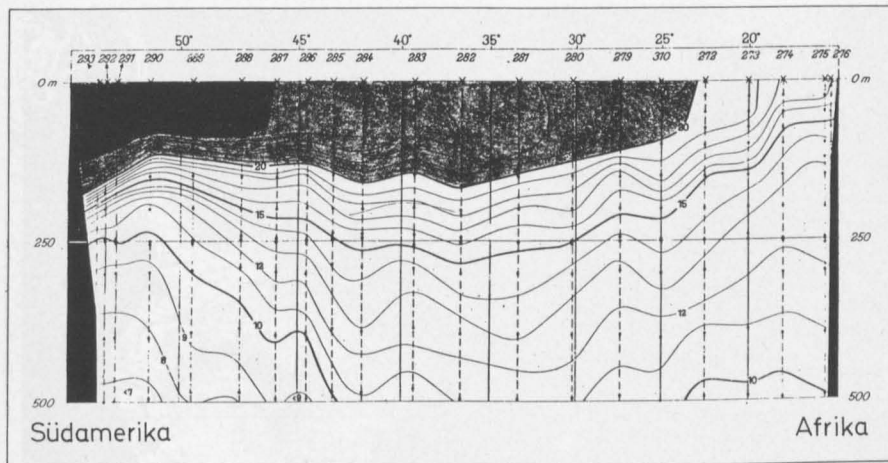


Abb. 4:

Vertikalschnitt der Temperatur in °C auf der Linie Guayana – Kapverdische Inseln – Afrikanische Küste (etwa 10°N). In der Abszisse sind geographische Grade (westliche Länge) sowie die laufende Nummer der Meßstation, in der Ordinate die Tiefe in Metern aufgetragen.

Im folgenden werden in drei Abbildungen drei Beispiele für typische Ergebnisse der Anwendung dieser drei Methoden gezeigt. Mit einiger Phantasie mag man daraus die unterschiedliche Arbeitsweise und den unterschiedlichen Aufwand ermessen.

Abb. 4 zeigt einen Vertikalschnitt der Temperaturverteilung im zentralen Atlantik, gewonnen auf der berühmten Expedition des Forschungsschiffes METEOR in den Jahren 1925–1927 (Defant 1981). Senkrechte Linien stellen eine Ankerstation des Schiffes dar und die Punkte darauf die einzelnen Meßpositionen. Das Bild ist nach eingehender Datenauswertung und -korrektur durch manuelle Interpolation entstanden.

In Abb. 5 ist ein Satellitenbild der Chlorophyllverteilung in der Deutschen Bucht wiedergegeben. Es zeigt eine flächendeckende Informationsfülle und einen Auflösungsgrad, wie sie von Schiffen nicht gewonnen werden können. Die erkennbaren kleinräumigen Strukturen sind erstmalig durch derartige Satellitenbilder gefunden worden. Die Sensoren messen allerdings die ozeanographischen Größen nur indirekt, und es sind umfangreiche Operationen notwendig, um die Rohdaten in marine Parameter umzusetzen. Zur Kalibration und Verifikation der Daten bleiben Schiffsmessungen notwendig (ground truth). Diese sind als Ergänzung umso notwendiger, als die Fernerkundung nur die Oberfläche erfaßt und kaum in die Tiefe eindringt.

Die Abb. 6 schließlich zeigt die berechnete Oberflächendeformation des Weltozeans infolge der halbtägigen Hauptmondzeit M_2 . Dieses Bild ist nur auf Grund der Kenntnis der astronomischen Kräfte und der natürlichen Tiefenverteilung des Weltozeans erstellt worden. Es ist nicht ein einziger Meßwert eingeflossen! Diese Detailliertheit und Informationsdichte ist mit konventionellen Beobachtungen niemals zu erreichen.

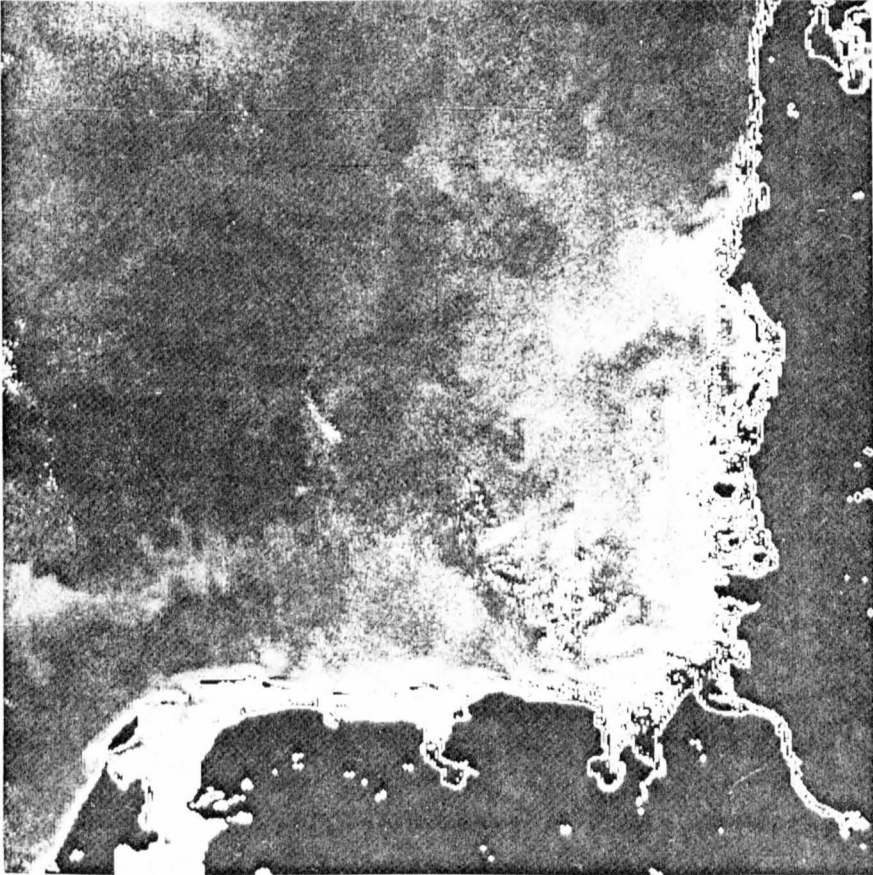


Abb. 5:

Chlorophyllverteilung in der Deutschen Bucht, gewonnen durch die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) aus Meßwerten des Coastal Zone Colour Scanner (CZCS) vom Juli 1979. Helle Schattierungen stellen hohe, dunkle niedrige Konzentrationen dar.

Allerdings sind auch hier für die Kalibration und die Verifikation des Modells Beobachtungsdaten erforderlich.

3. Mathematische Modelle in der Meeresforschung

Mathematische Modelle natürlicher oder technischer Vorgänge stützen sich auf die formelmäßige Beschreibung der fundamentalen Naturgesetze. Für die Meeresforschung sind das die grundlegenden Erhaltungsaxiome der Hydro- und Thermodynamik, die natürlich auch für den Ozean gelten müssen. Der physikalische Zustand des Meeres wird beschrieben durch die räumliche Verteilung und den zeitlichen Verlauf von sieben

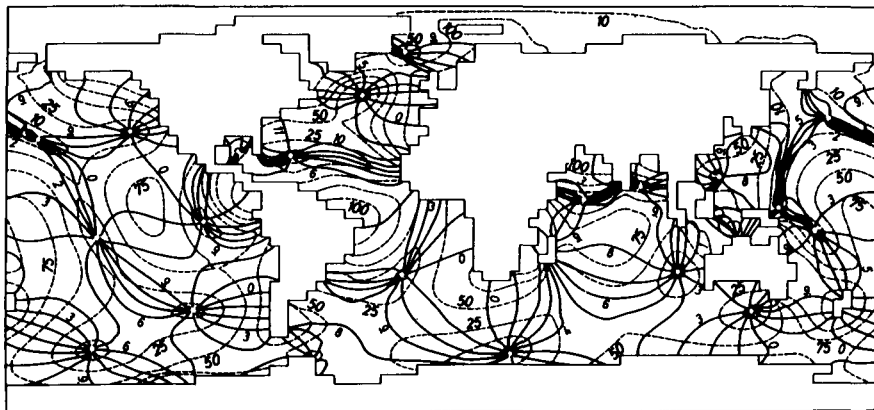


Abb. 6:

Berechnete halbtägige Hauptmondgezeit M_2 im Weltozean (Zahel 1978). Dargestellt sind die Linien gleicher Hochwassereintrittszeit (—) in Mondstunden (bezogen auf den Monddurchgang in Greenwich) und die Linien gleicher Amplitude (---) in Zentimetern. Der Gitterabstand beträgt 4° .

makroskopischen Variablen: Geschwindigkeitsvektor (drei Komponenten), Druck, Temperatur, Salzgehalt, Dichte. Ihre Bestimmung als Funktionen von Ort und Zeit kann – alternativ zu den klassischen Feldbeobachtungen – grundsätzlich durch die Lösung von sieben physikalischen Gleichungen erfolgen: drei Reynoldssche Bewegungsgleichungen (Ausdruck des Newtonschen Axioms von der Erhaltung des Impulses), Kontinuitätsgleichung (Erhaltung der Masse), Wärmeleitungsgleichung (Erhaltung der Energie), Salztransportgleichung (Erhaltung der Salzmasse), thermodynamische Zustandsgleichung. Mathematisch gesehen, handelt es sich dabei um nichtlineare partielle Differentialgleichungen zweiter Ordnung. Ihre Integration geht einher mit der Erfüllung von Randbedingungen; für den natürlichen Ozean bedeutet das die Vorgabe der beobachtenden Flüsse von Impuls, Masse und Wärme an den Grenzflächen des Systems, also z.B. des Windantriebs oder der Wärmestrahlung an der Meeresoberfläche.

Die zugrundeliegenden physikalischen Gleichungen sind mathematisch so kompliziert, insbesondere bei Berücksichtigung der natürlichen Geometrie der Ozeane, daß sie nicht analytisch gelöst werden können. Sie werden daher numerisch (näherungsweise) behandelt, und an dieser Stelle entfalten die modernen Großrechner ihre segensreiche Wirkung. Numerische Verfahren setzen i.a. eine Diskretisierung des zu untersuchenden Meeresgebietes voraus, d.h. eine abstrakte Repräsentation durch endlich viele Gitterpunkte oder Teilbereiche. Bekannteste Lösungstechniken sind das Differenzenverfahren (z.B. Mesinger & Arakawa 1976), die Methode der finiten Elemente (z.B. Zienkiewicz 1971), das Monte-Carlo-Verfahren (z.B. Maier-Reimer 1973). Einige Probleme der Meeresforschung, wie z.B. der globale Wärmetransport durch energiereiche mesoskalige Wirbel, erfordern dabei den Einsatz der größten heute verfügbaren Computer.

Eine grundsätzliche Schwierigkeit mathematischer Modelle resultiert aus der in der Natur stattfindenden Wechselwirkung verschiedenskaliger Vorgänge, die bis zur gegenseitigen (und nicht vernachlässigbaren) Beeinflussung mikroskopischer turbulenter Prozesse und der globalen Zirkulation reicht. Obwohl also physikalisch geboten, ist es doch praktisch weder wünschenswert noch machbar, in einem diskreten Modell alle diese Skalen gleichermaßen aufzulösen. Folglich fallen die kleinräumigen, gleichwohl wichtigen Prozesse wie etwa die turbulente Vermischung zweier Wasserkörper „durchs Gitter“. Man hilft sich damit, diese Prozesse zu „parametrisieren“, d.h. ohne sie im einzelnen nachzubilden, durch einen pauschalen Parameter mit dem großräumigen Feld zu koppeln. Beispiele solcher Parameter sind der Windschubkoeffizient, der Bodenreibungskoeffizient usw. Diese Größen sind keine Materialeigenschaften, sondern vom Strömungszustand abhängig; sie sind theoretisch nicht eindeutig zu bestimmen, sondern sie müssen empirisch durch Anpassung des Modells an Beobachtungsdaten gewonnen werden („Kalibration“). Eine gute Parametrisierung sollte vom einzelnen Datensatz unabhängig sein („universelle Konstanten“); sie sollte sich auch bei neuen Feldexperimenten bewähren („Verifikation“).

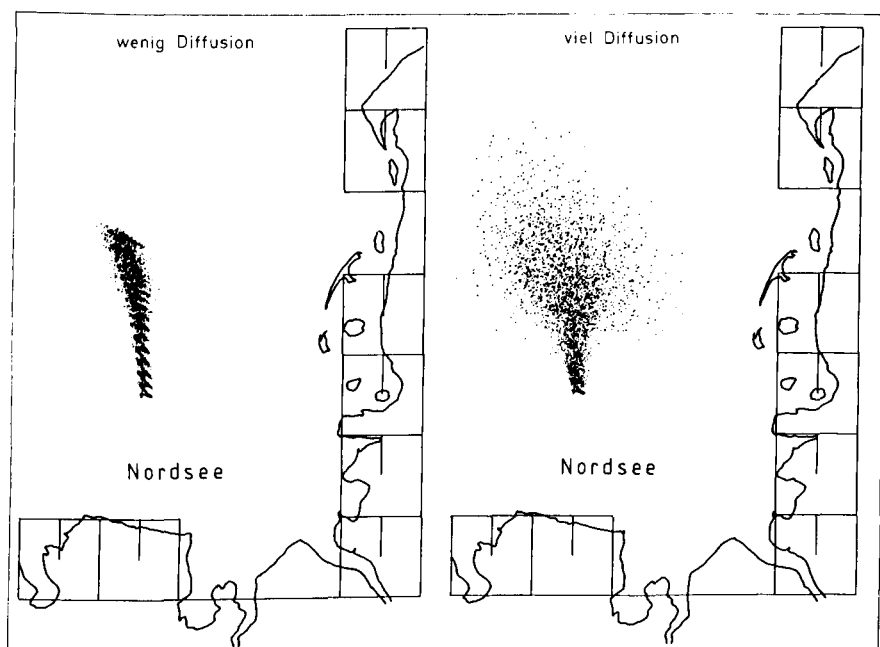


Abb. 7:

Berechnete Ausbreitung einer im Wasser gelösten konservativen Substanz in der Deutschen Bucht unter dem Einfluß von M_2 -Gezeit und Wind (NW 14 m/s) innerhalb von 20 Tagen. Im Falle links wurde ein konstanter Diffusionskoeffizient angenommen, im rechten Bild dagegen ein mit der Zeit anwachsender Diffusionskoeffizient (Maier-Reimer 1973).

Ein wichtiges Hilfsmittel bei der Wahl einer geeigneten Parametrisierung sind numerische Sensitivitätsstudien. Hier werden modellhaft Ansätze und Zahlenwerte variiert, um deren Auswirkung auf das großräumige Feld der Zustandsgrößen systematisch zu studieren. Der Vergleich mit Beobachtungen ergibt dann entscheidende Aufschlüsse über die Allgemeingültigkeit der Parametrisierung und über die richtige Wahl der empirischen Konstanten.

Die Abb. 7 zeigt ein typisches Ergebnis einer solchen Sensitivitätsstudie: die Ausbreitung einer eingebrachten Substanz im Meer bei Annahme eines kleinen und eines großen Diffusionskoeffizienten.

4. Beispiele für neue Einsichten durch Modellsimulation

Daß mathematische Modelle in der Meeresforschung quantitativ neuartige Ergebnisse bringen, ist offensichtlich. Daß mit ihrer Hilfe aber auch qualitativ neue Einsichten gewonnen werden, soll an Hand von drei Beispielen gezeigt werden:

- M_2 -Gezeit des heutigen Weltozeans
- M_2 -Gezeit des Weltozeans im Perm-Zeitalter
- Schadstoffausbreitung in der Nordsee.

Diese Erkenntnisse gründen sich auf die Fähigkeit der Modelle,

- hochauflösend und raumdeckend auch Gebiete zu erfassen, die aus logistischen Gründen kaum zugänglich sind;
- verschiedenartige Vorgänge, die sich in der Natur immer gegenseitig überdecken, künstlich zu trennen und damit in ihrer Kausalität zu verstehen;
- prognostische Simulationen zu gestatten, d. h. eindeutige Ergebnisse auch für Szenarios zu liefern, die von den gegenwärtigen Bedingungen signifikant abweichen und daher nicht beobachtet werden können.

Die Abb. 8 zeigt die berechneten Phasen (Hochwassereintrittszeiten) der M_2 -Tide entlang der afrikanischen Atlantikküste im Vergleich zu Pegelbeobachtungen (Zahel 1978). Es werden zwei Modellversionen betrieben: eine ohne und eine mit Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen den Gezeiten des Meeres und der festen Erde. Letztere trägt der elastischen Deformation des Meeresbodens unter dem Einfluß des Gezeitenpotentials des Mondes und der Auflast durch die ozeanischen Gezeitenberge sowie der Änderung des Gravitationsfeldes durch die Verschiebung von Wassermassen Rechnung. Es zeigt sich, daß durch die Berücksichtigung dieses Effektes die Modellergebnisse systematisch und signifikant verbessert werden. Die Sekundäranregung der Meeresgezeiten „von unten“ bewirkt eine Phasenänderung von $30-60^\circ$ (1 bis 2 Stunden). Wir lernen aus dem Beispiel, daß die ozeanischen Gezeiten durch die Wechselwirkung mit der festen Erde wesentlich mitgeformt werden, eine Erkenntnis, wie sie aus Beobachtungen allein nicht zu gewinnen wäre.

Für die Rekonstruktion der Erdgeschichte, die Interpretation geologischer Daten, Deutung der variablen Erdrotation ist die Frage der Meeresströmungen und -gezeiten

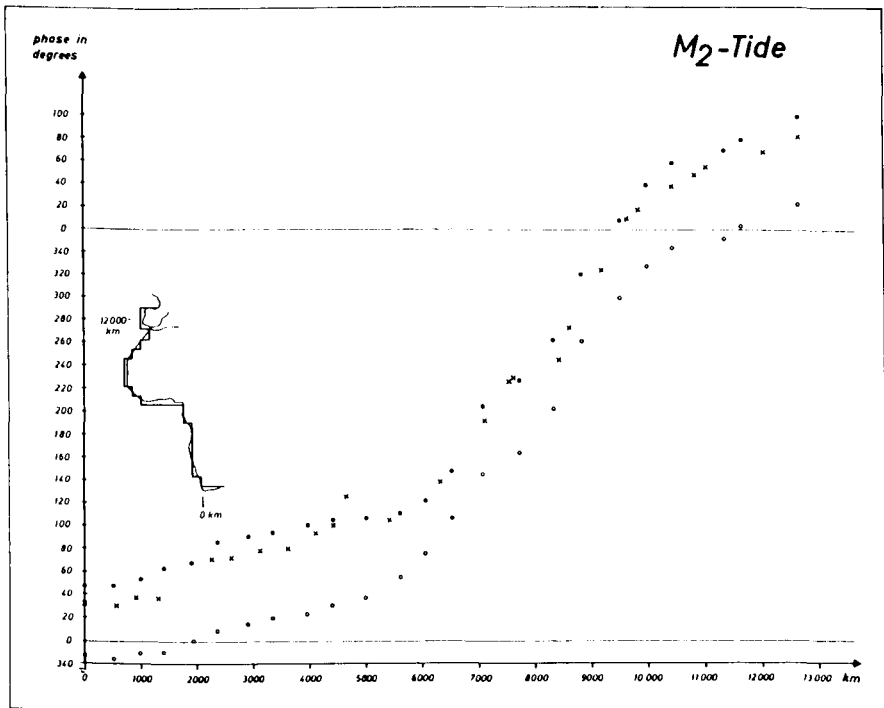


Abb. 8:

Berechnete und beobachtete Phasen (Hochwassereintrittszeiten) der halbtägigen Hauptmondgezeit M_2 entlang der Küste des Ostatlantiks von Kapstadt bis Lissabon (Zahel 1978)

- Modell ohne Berücksichtigung von tidal loading und ocean self-attraction
- Modell mit Berücksichtigung von tidal loading und ocean self-attraction
- x Pegelbeobachtungen

Die Phasen beziehen sich auf den Monddurchgang in Greenwich.

früherer Erdzeitalter von Bedeutung. Hier bieten mathematische Modelle die einzige umfassende Möglichkeit, weltweit Informationen zu bekommen. Voraussetzung ist die ungefähre Kenntnis der globalen Tiefenverteilung und des äußeren Antriebs. Hinreichende bathymetrische Daten liegen etwa bis zum Kambrium (500 Mio. Jahre zurück) vor. Die gezeiterzeugenden Kräfte sind aus der Himmelsmechanik genau bekannt. Der atmosphärische Antrieb dagegen läßt sich aus geologischen Daten nur für die jüngere Erdgeschichte (einige zehntausend bis einige Millionen Jahre) einigermaßen rekonstruieren; für ältere Zeiten müssen auch für die Lufthülle Modellrechnungen angestellt werden.

Abb. 9 zeigt die berechneten Amplituden und Phasen der M_2 -Gezeit für den Ozean des Oberen Perm, 250–230 Mio. Jahre zurück (Sündermann 1978). In dieser Formation gab es einen einzigen großen Kontinent, die Pangaea, und entsprechend einen

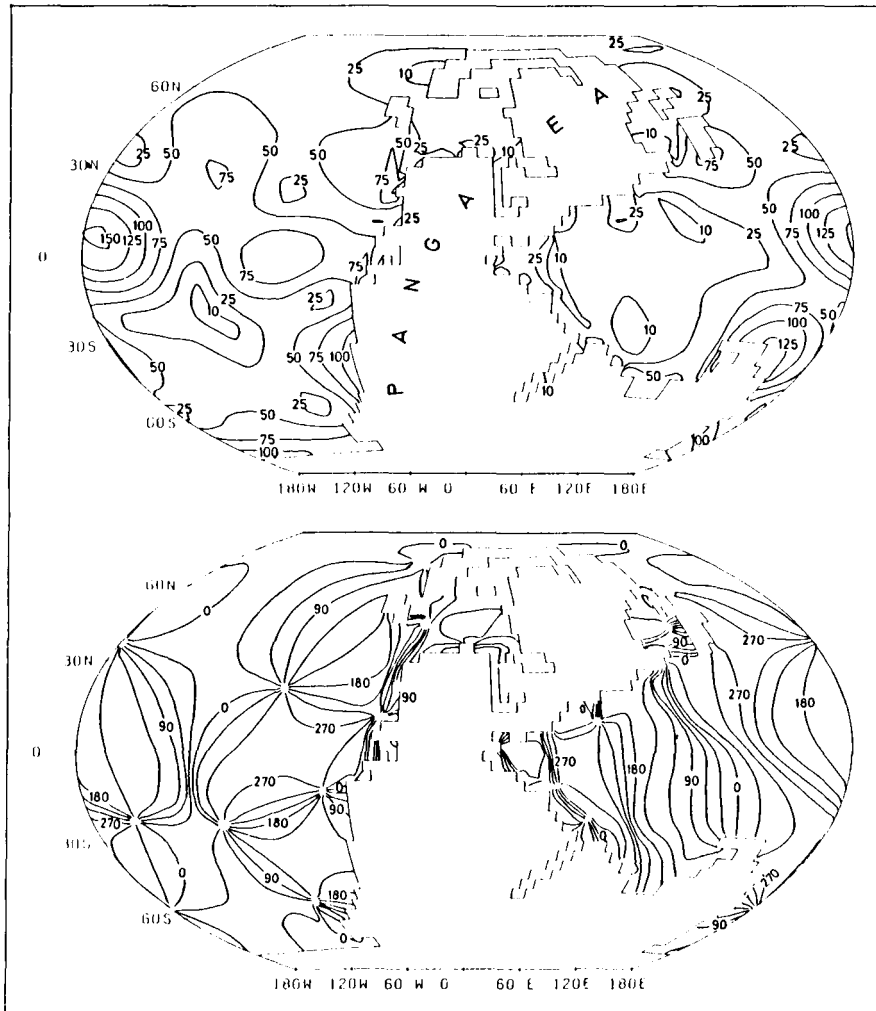


Abb. 9:

Berechnete Amplituden (cm; oberes Bild) und Phasen (Grad, bezogen auf den Monddurchgang durch den 0°-Meridian; unteres Bild) der halbtägigen Hauptmondflut für den Ozean des Oberen Perm, 250–230 Mio. Jahre zurück (Sündermann 1978). Die paläogeographischen Karten gründen sich auf Dietz & Holden (1970).

weltumspannenden Ozean. Die Gezeitenamplituden unterscheiden sich nicht signifikant von den heutigen. Diese Berechnung trug dazu bei, die aus Wachstumsrhythmen fossiler Korallen und Muscheln abgeleitete Verlangsamung der Erdrotation zu bestätigen.

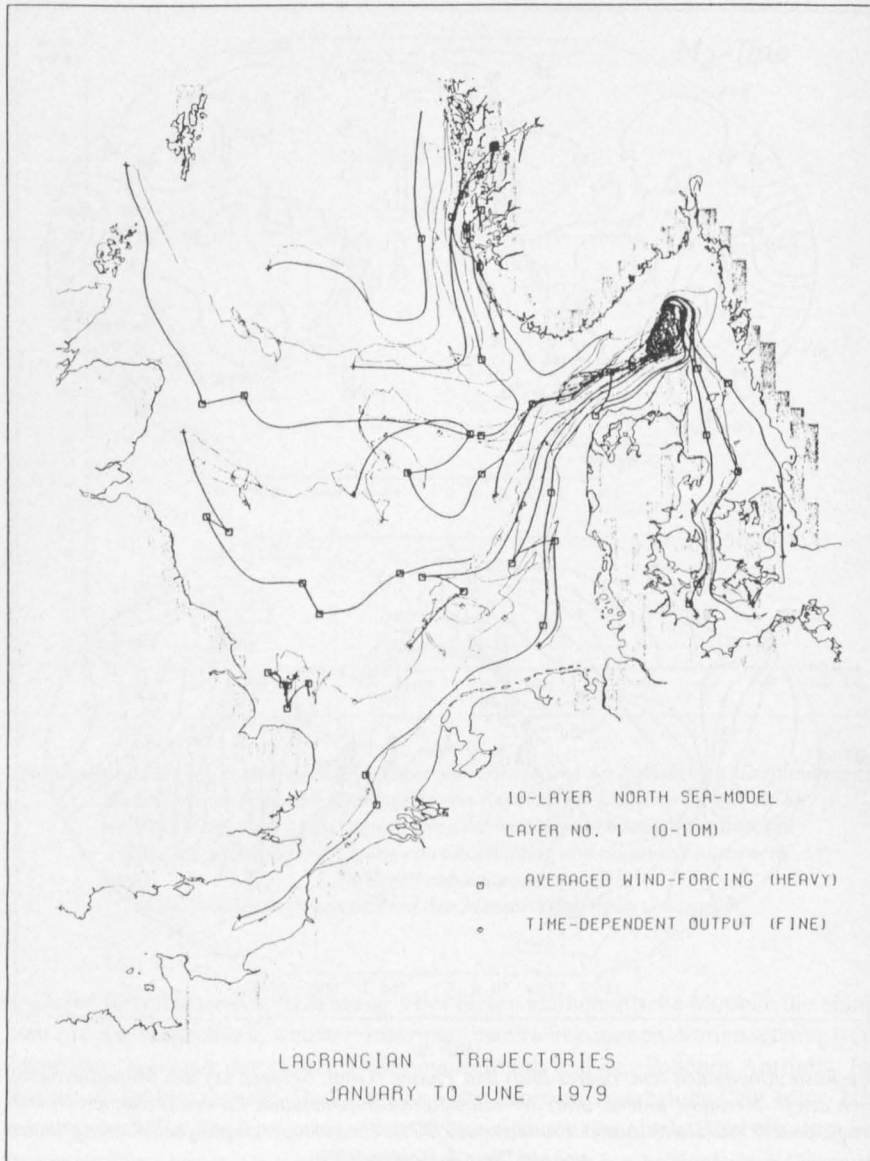


Abb. 10:

Berechnete (Lagrangesche) Trajektorien für oberflächennahe Wasserteilchen der Nordsee für den Zeitraum Januar bis Juni 1979 (Backhaus 1985). Die dicken Linien gelten für Monatsmittelwerte, die dünnen für die aktuelle Situation (Windinformation alle 6 Stunden). Beide Kurven beginnen jeweils gemeinsam im Ausgangspunkt der Teilchenwanderung.

Das letzte Kapitel schließlich betrifft die aktuelle Schadstoffproblematik der Nordsee. Die Beurteilung des Belastungszustandes und die Planung von Schutzmaßnahmen erfolgt durchweg auf der Basis von Schiffsdaten. Diese geben jedoch, und zwar sehr lückenhaft, immer nur einen Momentanzustand der Nordsee wieder, der angesichts der hohen meteorologischen Variabilität keineswegs repräsentativ sein muß. So werden in den seltensten Fällen, zeitlich oder räumlich aufgelöst, Spitzenbelastungen registriert werden. Diese aber sind gerade der limitierende Faktor für das Ökosystem

Die Bandbreite der natürlichen Variabilität ist erst durch mathematische Modellstudien deutlich geworden. Abb.10 zeigt die berechneten Trajektorien verschiedener

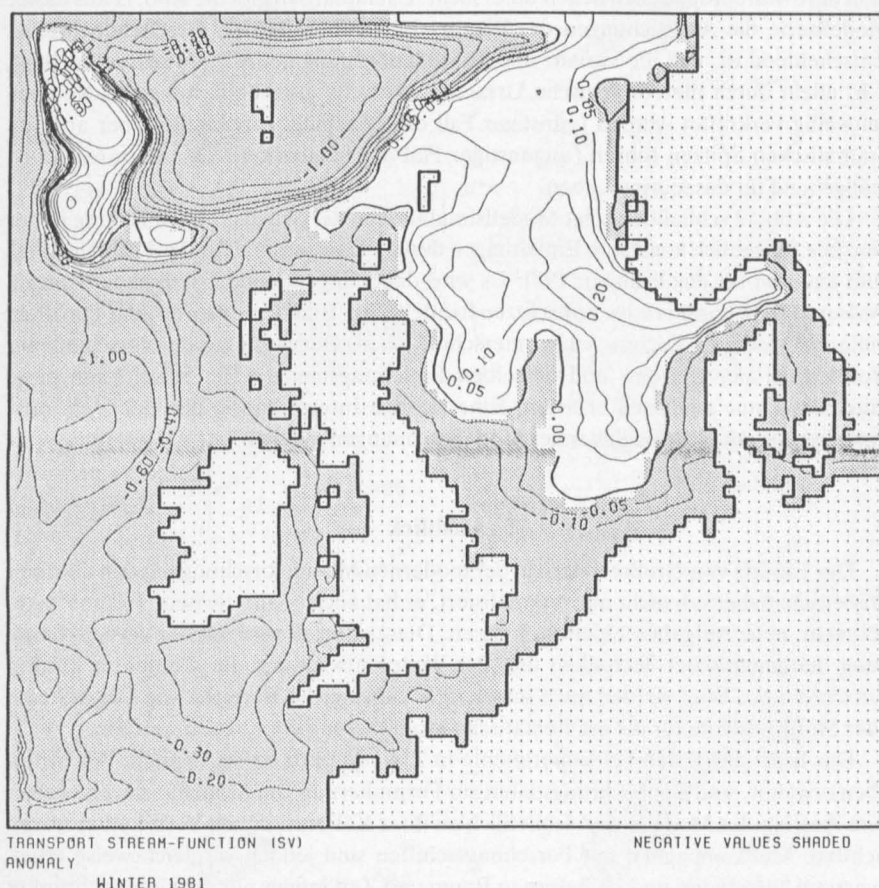


Abb.11:

Berechnete Anomalie (Abweichung vom langjährigen Mittel) der Wassermassentransporte in der Nordsee für den Winter 1981 (Hainbucher et al. 1986). Dargestellt sind Stromlinien in Sverdrup (1 Sv = 1 Mio. m³/s). Der Wassermassentransport zwischen zwei Linien entspricht der Differenz der Sv-Werte. Negative Werte sind schattiert.

oberflächennaher Wasserteilchen für die meteorologischen und hydrodynamischen Bedingungen des ersten Halbjahres 1979 (Backhaus 1985).

Für ein- und denselben Startpunkt der Wasserpartikel sind jeweils die Ausbreitungswege für mittlere Verhältnisse und die aktuelle Situation angegeben. Man sieht, daß die Verdriftungen der Wassermassen und damit die Konzentrationsverteilungen ganz erheblich voneinander abweichen können. Eine Bewertung von Schadstoffdaten kann daher immer nur an Hand synoptischer Strömungsfelder der ganzen Nordsee erfolgen; diese sind nur durch Modellrechnungen zu erhalten.

In einer systematischen Studie haben Hainbucher et al. (1986) die Varianz der Wassermassentransporte auf Grund des transienten meteorologischen Antriebs über dem nordwesteuropäischen Schelf untersucht. Exemplarisch gibt die Abb. 11 aus dieser Modellserie die Abweichungen des Winters 1981 vom mittleren Geschehen wieder. Entscheidend ist, daß die Varianz in der Größenordnung der Mittelwerte selbst liegt, d.h. allein durch meteorologische Ursachen kann die Grundbelastung der Nordsee zeitweilig verkräftet werden (günstiger Fall des „flushing“), zeitweilig aber auch zu dramatischen Spitzen führen (ungünstiger Fall der Stagnation). Der letztere Fall ist maßgebend für das marine Leben.

Die Abb. 12 schließlich zeigt Modellsimulationen der Schadstoffausbreitung in der Nordsee für zeitlich konstante Einleitungen durch Flüsse, einmal für das Frühjahr 1980, zum anderen für das Frühjahr 1981. Es wird dabei angenommen, daß es sich um im Wasser gelöste konservative Substanzen handelt. Das Bild demonstriert klar die allein meteorologisch bedingten sehr unterschiedlichen Belastungsgrade verschiedener Nordseeregionen bei ein- und derselben Einleitungsmenge. Ein Schiff kann diese Situationen nur punktuell erfassen. Eine richtige Interpretation der Beobachtungsdaten ist nur mit Hilfe begleitender Modellrechnungen möglich.

5. Ausblick

Der Einsatz von Großrechnern in der modernen Meeresforschung hat den marinen Wissenschaftsbetrieb nicht nur rationalisiert, er hat auch qualitativ neue Erkenntnisse gebracht, neue Aufgabenfelder erschlossen. Dieser Prozeß wird mit der Vervollkommenung mathematischer Techniken und der Weiterentwicklung der Computer künftig fortschreiten. Dabei werden auch schwieriger zugängliche Bereiche wie Ökosysteme oder Stoffkreisläufe für die mathematische Modellierung erschlossen werden.

Das heißt nicht, daß Feldexperimente in Zukunft entbehrlich würden. Wie schon oben erwähnt, sind Beobachtungsdaten zur Formulierung von Modellansätzen, weiter zum Antrieb der Modelle und schließlich zu ihrer Kalibration und Verifikation unverzichtbar. Meßkampagnen mit Forschungsschiffen sind jedoch vergleichsweise teuer, logistisch aufwendig, und sie liefern in Raum und Zeit immer nur sehr eingeschränkte Informationen. Wie schon heute, werden sie erst recht in der Zukunft sehr eng mit Modellrechnungen kombiniert werden. Diese inter- und extrapolieren in objektiver Weise die lückenhaften Beobachtungsdaten, sie ergeben globale Aussagen, sie gestatten auch prognostische Simulationen. So können mit dem Computer Expeditionen

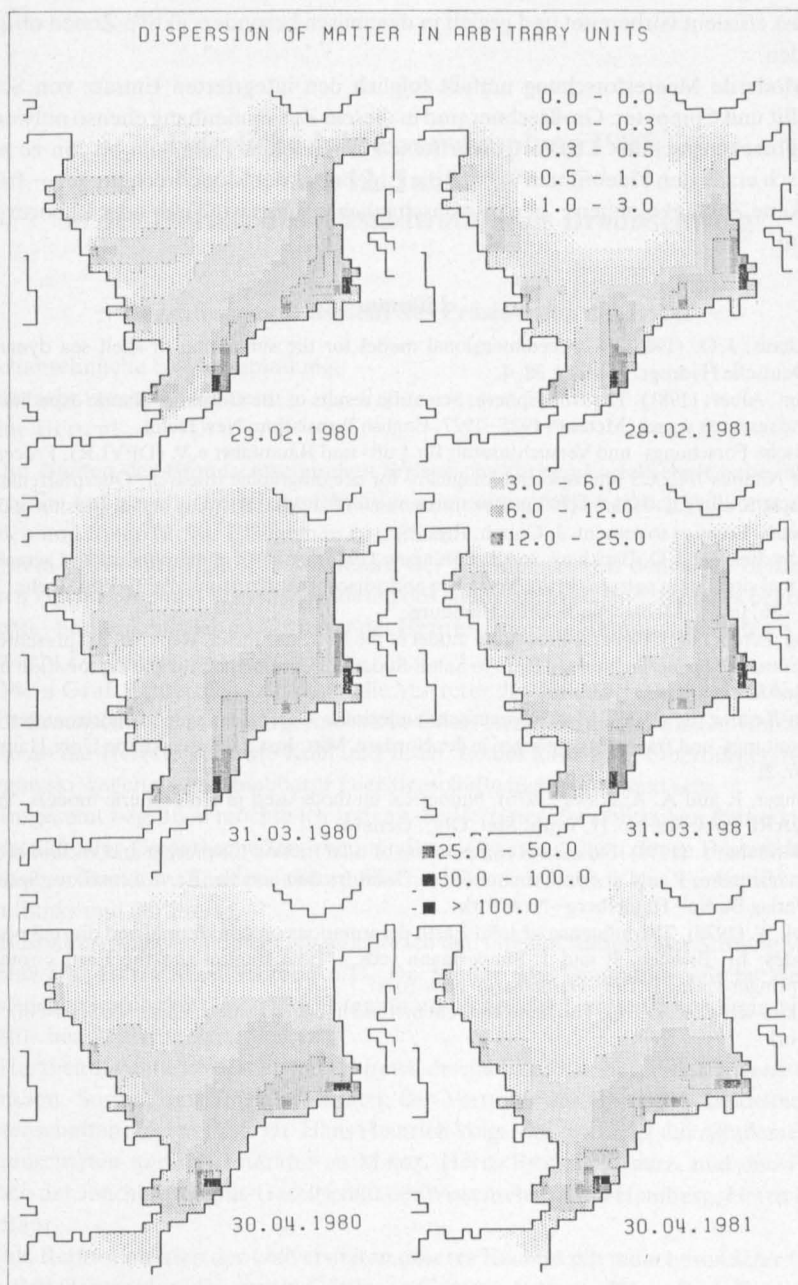


Abb. 12:

Berechnete Schadstoffausbreitung in der Nordsee für eine passive, konservative Substanz bei Einleitung durch die Flüsse. Die linke Versuchsreihe zeigt die Konzentrationen für das aktuelle Windfeld des Frühjahrs 1980, die rechte für dasjenige des Frühjahrs 1981. Die Graustufen kennzeichnen relative Einheiten (Backhaus, persönliche Mitteilung).

höchst effizient vorbereitet und gezielt in dynamisch besonders aktive Zonen dirigiert werden.

Moderne Meeresforschung umfaßt folglich den integrierten Einsatz von Schiff, Satellit und Computer. Großrechner sind in diesem Zusammenhang ebenso notwendig wie Forschungsschiffe. Die fortgeschrittenen graphischen Techniken bis hin zu automatisch erzeugten Videofilmen werden die Ergebnisse der Modellrechnungen – früher trockene Zahlenkolonnen – genauso anschaulich machen wie Feld- oder Laborexperimente.

Literatur

- Backhaus, J. O. (1985). A threedimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. Deutsche Hydrogr. Zeitschr. 38, 4.
- Defant, Albert (1981). The troposphere. Scientific results of the German Atlantic expedition of the research vessel „Meteor“ 1925–1927, English Translation, New Delhi.
- Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DFVLR), Processing of Nimbus 7/CZCS multispectral imagery for oceanographic research, Oberpfaffenhofen.
- Dietz, R. S. and J. C. Holden (1970). Reconstruction of Pangaea: Breakup and dispersion of continents, Permian to present. J. Geoph. Res. 75.
- Hainbucher, D., J. O. Backhaus and T. Pohlmann (1986). Atlas of climatological and actual seasonal circulation patterns in the North Sea and adjacent shelf regions: 1969–1981. Techn. Rep. 1–86, Inst. f. Meereskunde Univ. Hamburg.
- König, Peter (1982). General circulation model of the Red Sea. Techn. Rep. No. 38, presented by Preussag Marine Technology Dep. to Saudi-Sudanese Commission for the exploitation of the Red Sea resources, Hannover.
- Maier-Reimer, E. (1973). Hydrodynamisch-numerische Untersuchungen zu horizontalen Ausbreitungs- und Transportvorgängen in der Nordsee. Mitt. Inst. f. Meereskunde Univ. Hamburg Nr. 21.
- Mesinger, F. and A. Arakawa (1976). Numerical methods used in atmospheric models. Vol. I. GARP Publ. Ser. No. 17, World Met. Org., Geneva.
- Sündermann, J. (1978). Numerical computation of tidal friction for present and ancient oceans. In: Brosche, P. and J. Sündermann (eds.). Tidal friction and the Earth's rotation, Springer-Verlag Berlin–Heidelberg–New York.
- Zahel, W. (1978). The influence of solid Earth deformations on semidiurnal and diurnal oceanic tides. In: Brosche, P. and J. Sündermann (eds.). Tidal friction and the Earth's rotation, Springer-Verlag Berlin–Heidelberg–New York.
- Zienkiewicz, O. C. (1971). The finite element method in engineering science, McGraw-Hill, New York.

**Feierliche Jahresversammlung 1987
am 12. Juni 1987
in der Dornse des Altstadtrathauses Braunschweig**

– Begrüßung und Bericht des Präsidenten der BWG –

Hochansehnliche Festversammlung,
meine sehr verehrten Damen,
meine Herren!

Im Namen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft habe ich die Ehre, Sie auf unserer Feierlichen Jahresversammlung 1987 herzlich willkommen zu heißen und Ihnen für Ihr Erscheinen zu danken.

Mein erster Gruß gilt den Vertretern der Legislative, von denen ich besonders Herrn Herbst als einen der Abgeordneten des Niedersächsischen Landtages begrüßen möchte. Ferner heiße ich als Vertreter der Bezirksregierung Braunschweig Herrn Vizepräsident Dr. Schnöckel willkommen.

Mein Gruß richtet sich sodann an die Vertreter des Rates und der Verwaltung der Stadt Braunschweig, Frau Bürgermeisterin Onur, Herrn Stadtdirektor Dr. Kuhlmann sowie an die Herren Stadträte Kohl und Tesch. Leider kann Herr Oberbürgermeister Glogowski wegen unaufschiebbarer Dienstgeschäfte nicht anwesend sein.

Insgesamt begrüßen möchte ich sodann die Vertreter der politischen Parteien, der Wirtschaft, der Gewerkschaften, der ständigen Organisationen der in Braunschweig ansässigen Bundes-, Landes- und städtischen Behörden sowie des Fernsehens, des Rundfunks und der Presse.

Besonders willkommen heißen möchte ich den Generalsekretär der Stiftung Volkswagenwerk, Herrn Staatssekretär a.D. Dr. Möller. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat der Stiftung für umfangreiche Unterstützung ihrer wissenschaftlichen Aktivitäten zu danken.

Herzlich möchte ich ferner die zahlreich erschienenen Kollegen der Wissenschaft begrüßen. So, um nur einige zu nennen, den Vertreter der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Herrn Prof. Dr. Hans Heinrich Voigt, den Vertreter der Akademie der Wissenschaften und der Literatur zu Mainz, Herrn Prof. Dr. Lautz, und den Präsidenten der Joachim Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften zu Hamburg, Herrn Prof. Dr. Baur.

Als Repräsentanten der Universitäten unseres Raumes gilt mein besonderer Gruß dem Präsidenten der Universität Göttingen Georgia Augusta, Herrn Prof. Dr. Kamp, sowie dem Präsidenten der Technischen Universität Braunschweig Carolo Wilhelmina, Herrn Prof. Dr. Rebe.

Begrüßen möchte ich ferner – und zwar besonders herzlich – die Kollegen der Universitäten und Technischen Universitäten des In- und Auslandes, vor allem die Referenten unserer Vortragsveranstaltung, die heute vormittag stattgefunden hat:

die Herren Prof. Dr. Krätzig, Bochum,
 Prof. Dr. Rothert, Hannover
 und Prof. Dr. Sündermann, Hamburg.

Schließlich möchte ich alle Ordentlichen und Korrespondierenden Mitglieder unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, die zum Teil von weither angereist sind, willkommen heißen. Es sei mir ferner erlaubt, das Kanzlerfelder Bläser-Oktett unter der Leitung von Herrn Professor Roth zu nennen.

Meine Damen und Herren!

Der von mir zu erstattende Bericht erstreckt sich auf den Zeitraum von der letzten Feierlichen Jahresversammlung, also vom 6. Juni 1986, bis zum heutigen Tage. Während dieser Zeit hatte unsere Gesellschaft 7 Todesfälle zu beklagen.

Am 27. Juni 1986 verstarb in seinem 79. Lebensjahr in Hannover Prof. em. Dr.-Ing. habil. Gerhard Lehmann, ordentliches Mitglied der Gesellschaft in der Klasse für Bauwissenschaften seit 1964, Mitglied der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayrischen Akademie der Wissenschaften, Mitglied der Kommission C der Organisation Européenne d'Etudes Photogrammétriques Expérimentales, ehemals ordentlicher Professor für Photogrammetrie und Geodäsie an der Universität Hannover.

Der Verstorbene hat sich durch wesentliche Arbeiten in der analytischen Photogrammetrie besondere Verdienste erworben.

Am 30. September 1986 verstarb in seinem 85. Lebensjahr in Clausthal-Zellerfeld Prof. em. Dr. phil., Dr.-Ing. E.h. Günter Wassermann, ordentliches Mitglied der Gesellschaft in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1953, seit 1984 korrespondierendes Mitglied der BWG, Mitglied des Wissenschaftsrates der A.I.F., ausgezeichnet mit der Heyn-Denkmünze der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde, Ehren doktor der RWTH Aachen, zuletzt o. Professor am Institut für Metallkunde und Metallphysik an der Technischen Universität Clausthal.

Der Verstorbene hat sich durch zahlreiche Forschungsarbeiten sowie Veröffentlichungen über Themen der Metallkunde und der Metallphysik außerordentliches Ansehen erworben.

Am 3. November 1986 verschied in seinem 85. Lebensjahr in Boulder, Colorado, USA, Prof. Dr.-Ing. Adolf Busemann, ordentliches Mitglied seit 1944 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften, zuletzt tätig als Professor für Aerodynamik an der Universität von Colorado.

Prof. Busemann war Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Turin und der Internationalen Akademie für Astronautik in Paris und Inhaber mehrerer Auszeichnungen. Der Verstorbene hat sich durch wesentliche Arbeiten zu Überschallgeschwindigkeiten und der Gasdynamik ausgezeichnet.

Am 16. Dezember 1986 verstarb in seinem 83. Lebensjahr in Braunschweig Prof. em. Dr. phil. Eduard Justi, ordentliches Mitglied der Gesellschaft in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1947, ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, Mitglied der Kgl. Schwedischen Ingenieurwissenschaftsakademie, der Kgl. Akademie in Göteborg sowie zahlreicher anderer Gesellschaften und Kommissionen. Professor Justi war maßgeblich am Aufbau der BWG beteiligt und Begründer der Abhandlungen der BWG. Er war zuletzt tätig als o. Professor und Direktor des Instituts für Technische Physik der TU Braunschweig.

Seine wissenschaftlichen Arbeiten und Forschungen auf den Gebieten der Festkörperphysik und der Energiedirektumwandlung fanden internationale Anerkennung.

Am 21. Dezember 1986 verschied in seinem 92. Lebensjahr in Braunschweig Prof. em. Dr.-Ing. Hellmut Hartmann, ordentliches Mitglied der Gesellschaft in der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik seit 1955, zuletzt ordentlicher Professor und Direktor am Institut für Anorganische Chemie an der TU Braunschweig.

Der Verstorbene war maßgeblich am Aufbau des Instituts für Anorganische Chemie der TU Braunschweig beteiligt und hat durch zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten besondere Beachtung gefunden.

Am 27. Januar 1987 verstarb im 92. Lebensjahr Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Helmut Hausen, ordentliches Mitglied der Gesellschaft in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1953, seit 1984 korrespondierendes Mitglied, Inhaber zahlreicher wissenschaftlicher Auszeichnungen, zuletzt ordentlicher Professor für Thermodynamik und Verfahrenstechnik an der TH Hannover.

Der Verstorbene hat sich durch Arbeiten über Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom sowie Gasverflüssigung und Zerlegung von Gasgemischen wesentliche Verdienste erworben.

Am 27. Februar 1987 verstarb in seinem 51. Lebensjahr Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Rohdenburg, ordentliches Mitglied der Gesellschaft in der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik seit 1983, zuletzt ordentlicher Professor für Physische Geographie und Landschaftsökologie an der TU Braunschweig.

Herr Rohdenburg hat sich durch wesentliche Arbeiten zur Physischen Geographie und Bodengeographie ausgezeichnet.

Am 15. März 1987 verschied in seinem 64. Lebensjahr Prof. Dr. phil. Arnold Beuermann, ordentliches Mitglied der Gesellschaft in der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1969, von 1974 bis 1976 Generalsekretär der BWG, Wissenschaftlicher Beirat der Südosteuropa-Gesellschaft, München, Vorsitzender der Geographischen Gesellschaft zu Braunschweig, sowie Mitglied im Südosteuropa-Arbeitskreis der DFG.

Herr Beuermann hat durch zahlreiche Arbeiten zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeographie, insbesondere zu landeskundlichen Problemen Südosteuropas, wesentliche Beiträge geliefert.

Das am 12. Dezember 1986 als Wahlversammlung zusammengetretene Plenum der Gesellschaft wählte zu ordentlichen Mitgliedern

in die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Stahl, Direktor und Professor in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover;

Prof. Dr.-Ing. Roland Vollmar, Professor für Informatik an der TU Braunschweig;

Prof. Dr. phil. Dr. rer. nat. habil. Hans Joachim Weinert, Professor für Mathematik an der TU Clausthal;

in die Klasse für Bauingenieurwissenschaften

Prof. Dr.-Ing. Hans-Otto Leilich, Professor für Datenverarbeitungsanlagen an der TU Braunschweig;

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Prof. Dr. phil. Peter Ganz, Honorarprofessor an der Universität Göttingen und Resident Fellow an der Herzog August Bibliothek in Wolfenbüttel;

Prof. Dr. theol. D. D. Gerhard Müller, Honorarprofessor an der Universität Göttingen und Landesbischof der Ev.-luth. Landeskirche in Braunschweig.

Ferner wählte das Plenum zu korrespondierenden Mitgliedern

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Prof. Dr. phil. Arno Borst, o. Professor für Geschichte des Mittelalters an der Universität Konstanz;

Prof. Dr. phil. Adriano Peroni, ordentlicher Professor für Kunstgeschichte an der Universität Florenz.

Nach diesen Zuwahlen verfügt die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft gegenwärtig über 123 ordentliche Mitglieder, von denen 36 über 70jährige auf die durch die Satzung vorgeschriebene Höchstzahl von 110 ordentlichen Mitgliedern nicht anrechenbar sind. Die Zahl der korrespondierenden Mitglieder beläuft sich auf 64.

Während der Berichtszeit fanden im Plenum 8 wissenschaftliche Sitzungen statt, in denen durch Vorträge und entsprechende Diskussionen folgende Themen behandelt wurden:

- 1) „Umwelt-Technik, Umwelttechnik“,
- 2) „Der ökumenische Dialog zwischen der Römisch-Katholischen Kirche und der Evangelischen Kirche in Deutschland“,
- 3) „Wissenschaftliche Gesellschaften“,
- 4) „Entscheidende Phasen der Kulturlandschaftsentwicklung in Nordwestdeutschland“,
- 6) „Stromerzeugung durch thermische Kraftwerke – fossil, nuklear, solar“,
- 7) „Der Laser“,
- 8) „Wozu brauchen wir den Amazonaswald? (Der neotropische Regenwald und seine aktuelle Gefährdung)“.

Die fachwissenschaftlich enger orientierten Klassensitzungen – es gibt 4 Klassen – befaßten sich mit folgenden Themen:

- 1) „Werkzeuggebrauch im Tierreich“,
- 2) „Aktuelle Umweltprobleme in den Alpen“,
- 3) „Bestimmung des Wirkungsgrades hydraulischer Kraft- und Arbeitsmaschinen mit thermodynamischen Methoden“,
- 4) „Forschungsverbund Umwelttechnik der TU Clausthal“,
- 5) „Zur Aromaten-Emission an Ottomotoren“,
- 6) „Zur Regenerierung von Dieselmotoren“,
- 7) „Historismus‘ – Bemerkungen eines Historikers zur Geschichte des Phänomens und des Begriffs“,
- 8) „Wölbgestelle – über das Anordnen von Wölbungen in der neuzeitlichen Architektur“,
- 9) „Sibirien – aktuelle wirtschafts- und verkehrsgeographische Probleme sowie ihre möglichen Auswirkungen auf die Bundesrepublik Deutschland“,
- 10) „Der Campo Santo Teutonico in Rom – ein Beitrag zu seiner Geschichte und seiner Bedeutung für das Deutschtum“ (mit Lichtbildern),
- 11) „Lessings Plautus“.

Die sehr unterschiedlichen Themen charakterisieren die Klassenvielfalt, die in der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft sich dokumentiert. Sie sind jeweils das Ergebnis von wissenschaftlichen Überlegungen oder einer wissenschaftlichen Forschungsarbeit; sie sind innerhalb der einzelnen Klassen oder im Plenum vortragen und diskutiert worden.

Besonders hervorgehoben seien ferner die projektbezogenen Arbeiten der Kommissionen oder einzelne Forschungsvorhaben, die in ihren Aktivitäten nicht nur den Forschungsbereichen und der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, sondern auch in vielerlei Hinsicht dem Land Niedersachsen und der Stadt Braunschweig zugute kommen. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang das Forschungsvorhaben „Barock in Niedersachsen“, das in intensiver Weise fortgesetzt wird. Außerdem fand in der Zeit vom 7. bis zum 11. Oktober 1986 ein Symposium unter dem Titel „Der Magdeburger Dom“ in Magdeburg statt, das vom Bundesministerium für innerdeutsche Beziehungen bezuschußt wurde. Mit 108 Teilnehmern, davon 40% aus der Bundesrepublik Deutschland, 43% aus der Deutschen Demokratischen Republik, 17% aus anderen Ländern sowie rund 80 weiteren Teilnehmern, war ein voller wissenschaftlicher Erfolg beschieden. Insgesamt wurden dabei 36 wissenschaftliche Vorträge gehalten und 12 Diskussionen durchgeführt. Zum Abschluß des Symposiums fand eine Tagesexkursion nach Gernrode, Quedlinburg und Halberstadt statt. Die Vorbereitung des Symposiums durch das Institut für Kunstgeschichte der Karl-Marx-Universität Leipzig war vorzüglich und verdient Anerkennung. Ein Teil der Publikationen wird voraussichtlich mit der Unterstützung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft erscheinen.

Erwähnt sei ferner, daß am 5. Juli 1986 eine weitere Kommission, nämlich für „Umwelt und Technik“, gegründet wurde, die inzwischen ihre Forschungsarbeit aufgenommen hat.

Während der Jahresfeier 1986 wurden drei öffentliche Veranstaltungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft durchgeführt. Es ging dabei um die Themenbereiche:

- „Die Einbürgerung der Naturphilosophie in Rom“,
- „Die Bedeutung des lateinischen Mittelalters für die Entwicklung der Mathematik“
und
- „Die Naturwissenschaften in einer Bilderhandschrift des 13. Jahrhunderts“.

Veröffentlicht wurden in den letzten 12 Monaten Band 38 der Abhandlungen sowie das Jahrbuch 1986. Beide Bände erschienen termingerecht und sind inzwischen versandt worden. Dies ist angesichts des geringen hauptamtlichen Personalbestandes der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft eine außergewöhnliche Leistung, für die besonders unserem Generalsekretär, Herrn Professor Dr. Richter, zu danken ist.

Ich möchte nicht versäumen, im Rahmen des heutigen Schlußberichtes die Gelegenheit zu nutzen, um dem Lande Niedersachsen sowie der Stadt Braunschweig für die Unterstützung unserer Gesellschaft zu danken. Damit wird uns die Grundlage gegeben, wissenschaftliche Diskussionen und Forschungsvorhaben in begrenztem Umfang durchzuführen. Daß angesichts der schwierigen Haushaltssituation auch wir haben Kürzungen in Kauf nehmen müssen, sei mit Bedauern vermerkt. Erwähnt sei aber auch, daß – was bei wissenschaftlichen Akademien selbstverständlich ist – die Mitglieder unserer Gesellschaft ihren Aufgaben und Funktionen völlig ehrenamtlich und zusätzlich zu ihren beruflichen Aufgaben nachkommen. Dank dieses Einsatzes ist es uns bisher möglich gewesen, unsere wissenschaftlichen und administrativen Aufgaben ordnungsgemäß zu erfüllen. Ich habe diese Formulierung, entsprechend der unserer Gesellschaft wohl anstehenden Bescheidenheit, gewählt. Volkswirtschaftlich jedoch bedeutet dieses, daß die von der Öffentlichen Hand aufgewendeten Mittel zu einem beachtlichen wissenschaftlichen Ergebnis geführt haben.

Meine sehr verehrten Damen, meine Herren!

Als Vertreter einer wissenschaftlichen Gesellschaft mit technischen Schwerpunkten, einer Gesellschaft, deren Mitglieder zu einem nicht unbeträchtlichen Teil an den Standorten von Technischen Universitäten wie Braunschweig, Hannover und Clausthal-Zellerfeld beheimatet sind, ist es völlig berechtigt, auf die Auswirkungen der Technik in positiver und negativer Hinsicht einzugehen. Diese Ansicht und diese Einsicht haben zum Beispiel auch zur Bildung der Kommission „Technik und Umwelt“ geführt. Noch vor einem Jahr hat mein Vorgänger im Amt, Herr Professor Olsen, im Rahmen der Feierlichen Jahresversammlung auf eine offen zutage tretende Technikfeindlichkeit, insbesondere bei Teilen der jüngeren Generation, hingewiesen, wobei die die technischen Werte stützenden Wissenschaften in die Kritik oder Schelte von Teilen der

Öffentlichkeit mit einbezogen wurden. Heute ist dieses, so will mir scheinen, längst nicht mehr in dem angezeigten Umfange der Fall. Liegt dieses an der häufig apostrophierten Schnellebigkeit der Menschen unserer Zeit oder ist es – und damit möchte ich zu dem heutigen Thema unserer Veranstaltung überleiten – die Computeranhäufung in unseren technischen Einrichtungen, die offensichtlich eine neue Faszination und dementsprechend auch einen verstärkten Absatz ausgelöst haben? Die Frage der Technik, Genese und zukünftigen Entwicklung wird auch weiterhin ein Schwerpunkt innerhalb unserer Wissenschaftlichen Gesellschaft sein, getragen von den Aktivitäten sowohl der Klasse für Bauwissenschaften als auch der Klasse für Ingenieurwissenschaften. Daß dieser Gesamtkomplex aber auch auf kulturgeschichtlichem, sozialgeschichtlichem sowie wirtschaftlichem Hintergrund zu sehen ist und auch gesehen worden ist, haben die Diskussionen zahlreicher Plenarveranstaltungen gezeigt. Dabei wurden in der Regel sowohl Gesichtspunkte der historisch-genetischen Entwicklung als auch Perspektiven der Gegenwart behandelt.

Die Forschungsaktivitäten unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft werden angeregt, gesteuert und mit ihren Ergebnissen vorgestellt sowohl in den Plenarveranstaltungen, in den Kommissionen als auch in den Klassensitzungen. Die Gliederung in vier Klassen entspricht einer im wesentlichen traditionellen Ordnung; es handelt sich bekanntlich um

1. die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik,
2. die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
3. die Klasse für Bauwissenschaften,
4. die Klasse für Geisteswissenschaften.

Dabei entspricht eine Klasse einer Gruppe von einander benachbarten Fächern. Ob diese Gliederung immer so bleiben wird und soll, ist sicherlich des Überlegens wert. Nicht umsonst wird nämlich bei der Gründung der Akademie der Wissenschaften zu Berlin die Einteilung in Klassen völlig fortfallen. An ihre Stelle sollen Arbeitsgruppen treten, in denen Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen zusammenarbeiten werden. Als wichtigste Punkte für die Arbeit der neuen Akademie wurden genannt: die Erforschung der Wechselwirkung zwischen Technik und Gesellschaft, die Politik- und Forschungsberatung sowie die Vermittlung zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Gerade der letzte Punkt verdient besondere Beachtung; er wird auch in unseren Überlegungen ständig berücksichtigt.

Das Thema unserer Feierlichen Jahresversammlung 1987 wird im wesentlichen getragen von den Mitgliedern der Klasse für Bauwissenschaften. Bereits die Vortragsveranstaltung des Vormittags berücksichtigte speziell den Zusammenhang zwischen Technik und Computer. Durch das Konzil unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft ist in diesem Jahre die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille Herrn Professor Dr. Zienkiewicz zuerkannt worden, dessen Aktivität gerade in diesem wissenschaftlichen Bereich zu bemerkenswerten und vielbeachteten neuen Ergebnissen geführt hat. Herr Kollege Zienkiewicz lehrt in Swansea und wird seinen Vortrag in englischer Sprache halten. Um dem Auditorium die Einordnung und das Verständnis des schwie-

rigen Themenbereiches zu erleichtern, hat Herr Prof. Dr.-Ing. E. Stein es dankenswerter Weise übernommen, schon in der Laudatio für den Medaillenträger eine ausführlichere Problemdarstellung des Vortragsinhaltes sowie des Forschungsbereiches von Herrn Zienkiewicz aufzuzeigen.

Laudatio
zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an
Prof. Dr. mult. Olgierd C. Zienkiewicz, Swansea/Großbritannien

Von **Erwin Stein**

Herr Präsident,
sehr geehrte Festversammlung,
hochverehrter, lieber Herr Kollege Zienkiewicz,
verehrte Frau Zienkiewicz,

die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft – die BWG – hat Ihnen, verehrter Herr Professor Zienkiewicz, ihre höchste Auszeichnung, die Gauß-Medaille, angetragen, und Sie erweisen durch die Bereitschaft zur Annahme unserer Gesellschaft, die sich insbesondere um das Verhältnis der Naturwissenschaften zu den Ingenieurwissenschaften und beider Beziehungen zu den Geisteswissenschaften bemüht, eine große Ehre.

Es ist für uns eine große Freude und besondere Ehre, daß Sie, verehrte Frau Zienkiewicz, mit nach Braunschweig gereist sind, um an der Ehrung teilzunehmen.

Der Antrag zur Verleihung kommt aus der Klasse der Bauwissenschaften. Damit wird deutlich, daß wir in dem zu ehrenden Wissenschaftler neben oder sogar trotz seinen hervorragenden Leistungen auf dem Gebiet der numerischen Mechanik, treffender „computational mechanics“, vor allem den Ingenieur, noch deutlicher den Bauingenieur sehen, der im Jahre 1943 am Imperial College in London den Bachelor of Science in Civil Engineering mit einer „first class honour“ erwarb und für seine berufliche Laufbahn als Ingenieur nach meinem Eindruck eine Symbiose von „Theoria cum Praxi“ anstrebte und in hervorragender Weise verwirklichte.

Er war in der Tat nach dem philosophischen Doktorexamen unter Southwell, Pipard und Bickley im Jahre 1945 vier Jahre lang als Bauingenieur mit Staudammprojekten, vor allem in Schottland, beschäftigt, ehe es ihn wieder zu Lehre und Forschung an die Universität zurückzog.

Ihr wissenschaftliches Werk, Ihre weltweite Anerkennung ist verbunden mit der Entwicklung der Finite-Element-Methode in der Struktur- und Strömungsmechanik, die Sie von 1961 an bis heute als Professor und Head of Department of Civil Engineering der University of Swansea mit einer Gruppe von stets hervorragenden Mitarbeitern, Stipendiaten und Gastwissenschaftlern aus der ganzen Welt nach Breite und Tiefe im geistigen Wettbewerb mit anderen Zentren dieser stürmischen Entwicklung vorantrieben – Zentren z.B. in Stuttgart (geführt von Prof. Argyris), in Berkeley (mit den Professoren Clough, Wilson und Taylor) und am MIT (vor allem mit Professor Pian).

Bevor ich auf einige Stationen Ihres Lebens und Ihres bisherigen Werkes eingehe, möchte ich das dominante Forschungsthema, die Finite-Element-Methode, etwas

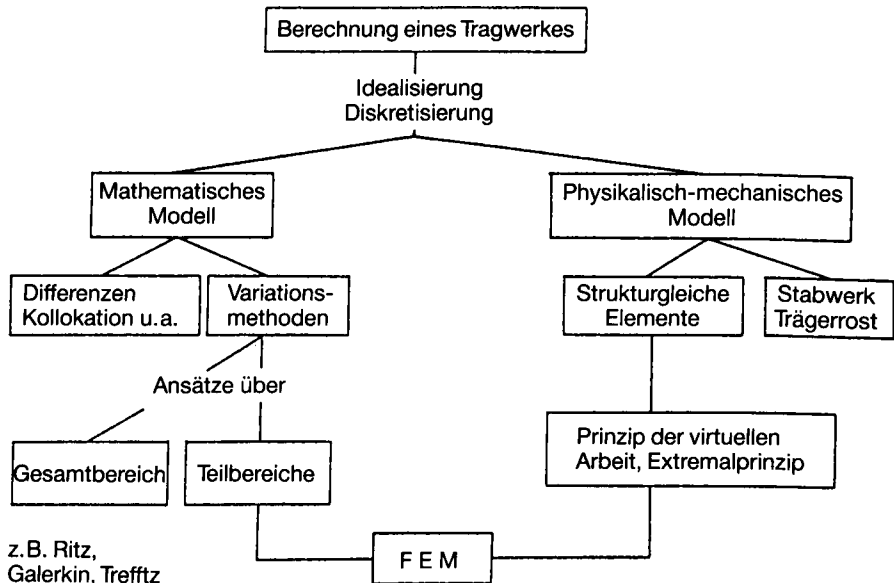


Bild 1:
Mathematischer und mechanischer Zugang zur Finite-Element-Methode

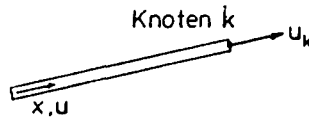
erläutern, auch die Bezüge und ihre Bedeutung für die heutigen technischen Wissenschaften. Dies ist freilich ohne geometrische und formelmäßige Darstellungen schwierig, aber auch für diese „Kunst“ gibt es berühmte Vorbilder, etwa das Buch „Mécanique analytique“ von Lagrange, das keinerlei Figuren enthält.*

Aus der Sicht der numerischen Mathematik ist die Finite-Element-Methode ein numerisches Verfahren, und zwar ein sogenanntes direktes Variationsverfahren nach Rayleigh-Ritz, zur näherungsweisen Lösung von Randwert- und Anfangs-Randwert-Aufgaben partieller Differentialgleichungen, z.B. der Kirchhoffschen Plattengleichung für die Durchbiegung einer dünnen, biegesteifen Platte unter Querbelastrung, wie wir sie von Hoch- und Brückenbauten kennen, siehe Bild 1. Der entscheidende Unterschied zum klassischen Ritzschen Verfahren, von Walter Ritz im Jahre 1908 in seiner Züricher Habilitationsschrift angegeben, ist die Verwendung von in der Regel gleichen Parameteransätzen in Teilbereichen mit Dreiecks- oder Vierecksstruktur – eben den finiten Elementen – und Verbesserung der Ergebnisse durch Verdichtung der Elemente, was man auch als h -Adaptivität (h = Elementmaß) bezeichnet. Ritz selbst hat in einer Fußnote bereits auf diese naheliegende Strategie mit Teilbereichen hinge-

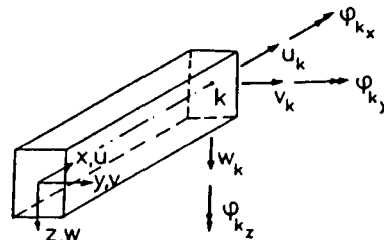
*) In die schriftliche Fassung der Laudatio sind zum besseren Verständnis einige Bilder aufgenommen.

BEISPIELE FÜR FINITE ELEMENTE MIT PRIMÄREN KNOTENVERSCHIEBUNGS-GRÖßEN (VERSCHIEBUNGEN UND DREHUNGEN)

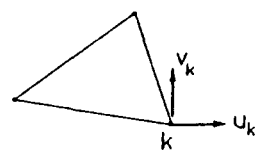
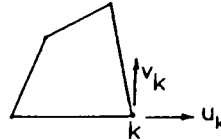
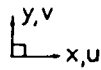
1. FACHWERKSTABELEMMENT



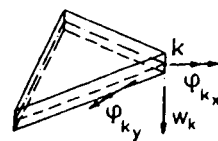
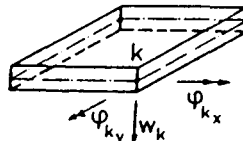
2. BALKENELEMENT



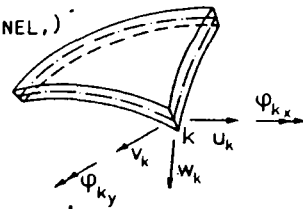
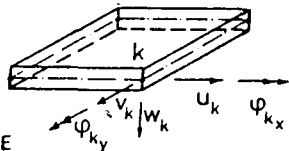
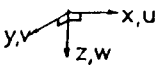
3. SCHEIBENELEMENTE



4. PLATTENELEMENTE



5. DÜNNES SCHEIBEN-PLATTEN-ELEMENT (FALTWERKSEL., EBENES UND GEKRÜMMTES SCHALENEL.)



6. RÄUMLICHE ELEMENTE

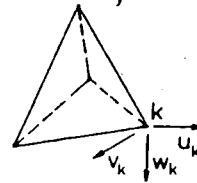
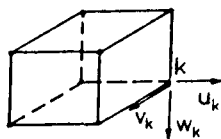
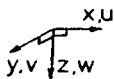
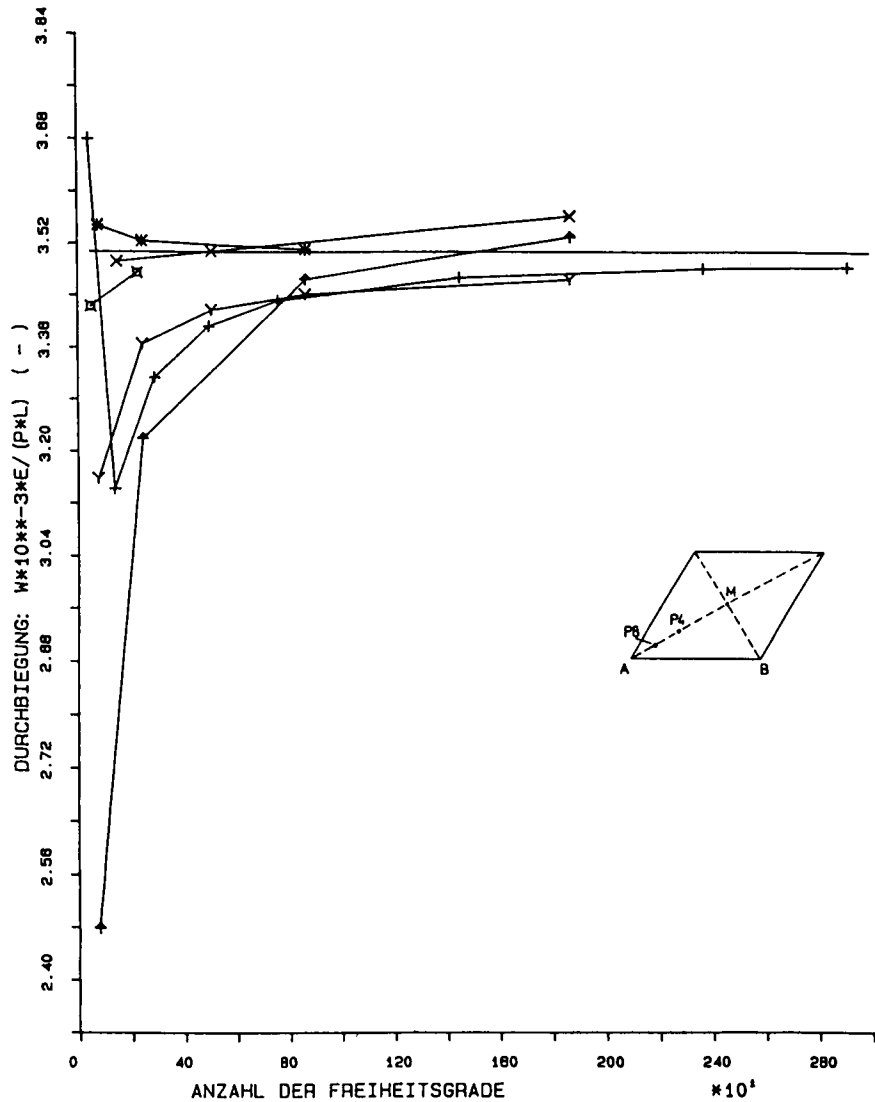


Bild 2:

Ein-, zwei- und dreidimensionale finite Elemente mit Verschiebungsansätzen

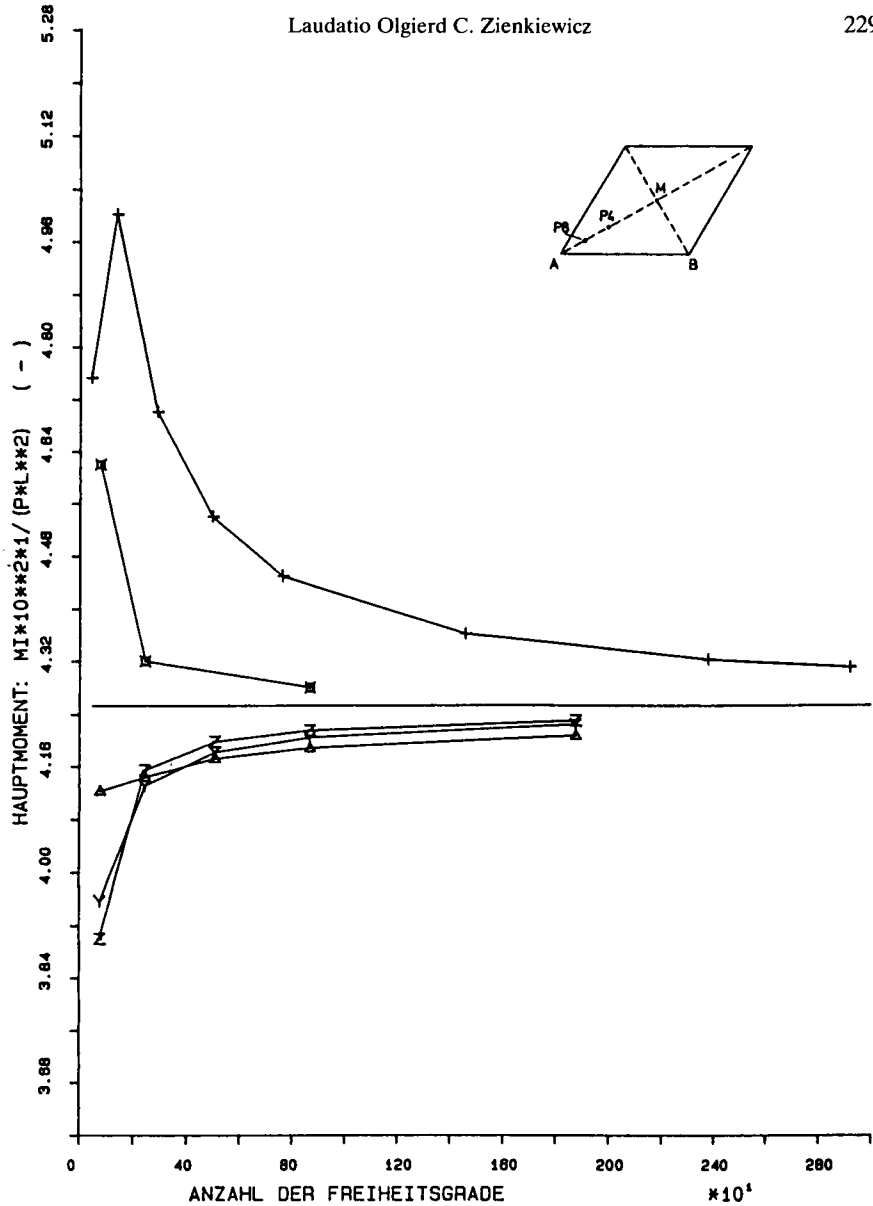


KONVERGENZVERHALTEN DER DURCHBIEGUNG W IM MITTELPUNKT M
EINER 60 GRAD NAVIERPLATTE UNTER GLEICHLAST

- | | |
|-------|---|
| — | VERGLEICHSLÖSUNG |
| Y Y Y | DS4-ELEMENT (STEIN) |
| + + + | DREIECKELEMENT MIT 6 KNOTEN (HARBORD) |
| X X X | S16 ISOPARAMETRISCHES SCHALENELEMENT (RAMM) |
| △ △ △ | S9 ISOPARAMETRISCHES SCHALENELEMENT (RAMM) |
| ▢ ▢ ▢ | GEMISCHTES DREIECKELEMENT (RANNACHER) |
| * * * | GEMISCHT HYBRIDES VIERECKELEMENT (WUNDERLICH) |

Bild 3a:

Konvergenzverhalten verschiedener FE-Lösungen am Beispiel einer 60°-Rhombus-Platte



KONVERGENZVERHALTEN DES HAUPTMOMENTES MI IM MITTELPUNKT M
EINER 60 GRAD NAVIERPLATTE UNTER GLEICHLAST

- VERGLEICHSLÖSUNG
- Δ Δ Δ DKT-ELEMENT MIT 3 KNOTEN (STEIN)
- Z Z Z DKQ-ELEMENT (STEIN)
- Y Y Y DS4-ELEMENT (STEIN)
- + + + DREIECKELEMENT MIT 6 KNOTEN (HARBORD)
- ■ ■ GEMISCHT HYBRIDES VIERECKELEMENT (WUNDERLICH)

Bild 3b:

Konvergenzverhalten verschiedener FE-Lösungen am Beispiel einer 60°-Rhombus-Platte

wiesen, denn gerade bei komplizierten Rändern und Gebieten, dem Regelfall der Ingenieurpraxis, ist das Auffinden höherer Ansatzfunktionen für ein Gesamtgebiet zur Verbesserung der Näherungslösung unter Beachtung der Vollständigkeit und Konformität und damit der Konvergenz praktisch kaum möglich.

Man kann die h-Adaptivität mit der p-Adaptivität koppeln, wobei p die Ordnung der Interpolationspolynome, der sogenannten shape-functions, bezeichnet.

Dieser mathematischen Betrachtungsweise steht die strukturmechanische oder ingenieurmäßige Deutung und Sicht gegenüber. Danach ist die Finite-Element-Methode ein Näherungsverfahren mit *strukturegleichen* Teilgebieten. Es wird also eine Platte nicht – wie bis in die 60er Jahre üblich – durch einen Trägerrost approximiert, sondern durch gedachte strukturegleiche Plattenelemente, die in gewählten Knoten zunächst geometrisch wieder zusammengebaut werden, um die erforderliche geometrische Kontinuität zu realisieren. Der vorhin genannte direkte Variationsprozeß eines Funktionals, nämlich der gesamten potentiellen Energie (genauer des Potentialverlustes) des hier als konservativ vorausgesetzten mechanischen Systems führt auf die sogenannte schwache Formulierung der Gleichgewichtsbedingungen, mechanisch darstellbar als Prinzip der virtuellen Arbeit. In den erwähnten Elementknoten ergeben sich Gleichgewichtsbedingungen gedachter Knotenkräfte entsprechend den vorher definierten Knotenverschiebungen.

Die große Anwendungsbreite der FEM ergibt sich durch die gleichartige algorithmische und programmtechnische Behandlung unterschiedlicher Strukturelemente, wie sie in Bild 2 dargestellt sind.

Es ist sofort ersichtlich, daß man bei wirklichkeitsnaher Diskretisierung eines schwierigen Ingenieurproblems sehr viele unbekannte Knotenverschiebungen und damit große algebraische Gleichungssysteme in der Spanne $n = 100 \times 100.000$ erhält, die einen Elektronenrechner erfordern, allerdings heute auf den Personalcomputern der AT-Klasse, insbesondere aber mit den vernetzten 32-bit Super-Micros strukturabhängig bis zu beachtlichen Größenordnungen unmittelbar am Arbeitsplatz gelöst werden können.

In Bild 3 ist das Konvergenzverhalten verschiedener finiter Elemente bei Netzverdichtung für eine Rhombus-Platte dargestellt. Man erkennt, daß das Biegemoment schlechter konvergiert als die Durchbiegung, ein grundlegendes Problem der Methode.

Im Falle geometrisch oder stofflich nichtlinearer Probleme, z. B. Stabilitätsuntersuchungen von Schalen, siehe Bild 4, oder die Erfassung plastischer Deformationen bis zum Versagen einer Struktur, siehe Bild 5, ergeben sich nichtlineare algebraische Gleichungssysteme, die durch konsistente Linearisierungsprozesse iterativ zu lösen sind.

Letztlich sei auf die große Zahl technisch wichtiger Kopplungen hingewiesen, z. B. im Bereich zeitabhängiger, nichtlinearer Modellbildungen, etwa für das Kriechen von Metallen oder von Steinsalz (siehe Bild 6) bei hohen Temperaturen in Verbindung mit mechanischen Beanspruchungen und dessen Einfluß auf die Systemstabilität, transients Prozesse, weiterhin Fluid-Festkörper-Interaktionen, elasto-elektromagnetische Probleme usw. Insbesondere die direkte Zeitintegration thermodynamisch voll gekoppelter Prozesse – z. B. mit teilweise elliptischen und teilweise parabolischen Operato-

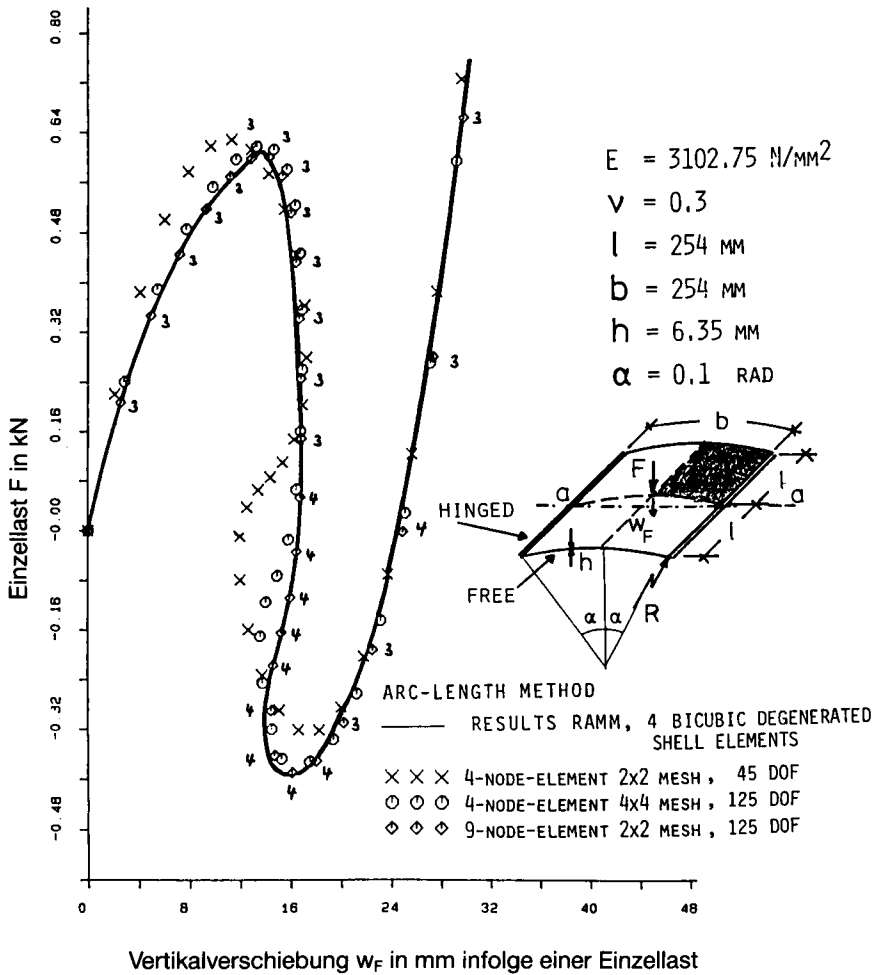
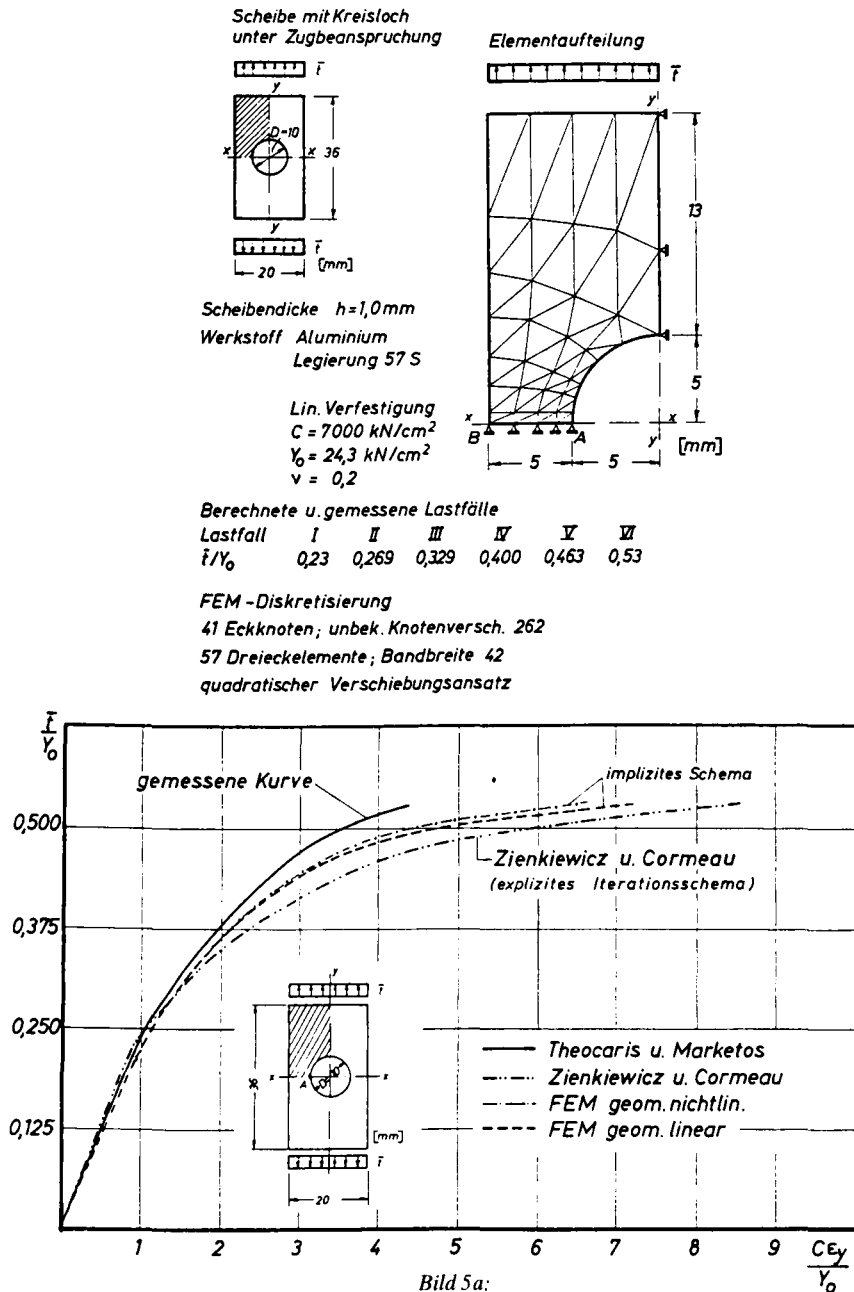


Bild 4:
 Durchschlagverhalten eines flachen Zylindersegmentes unter Verwendung eines Algorithmus zur Kurvenverfolgung
 – Vergleich verschiedener FE-Diskretisierungen –



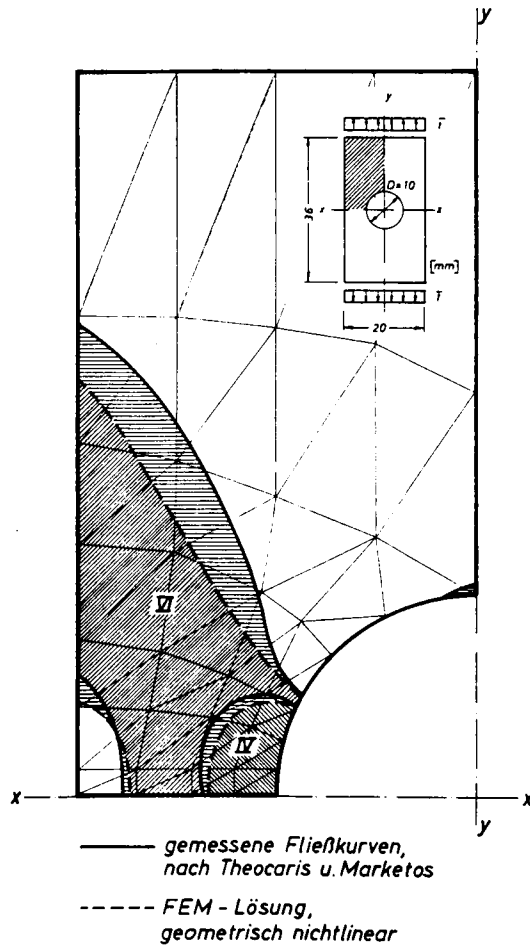


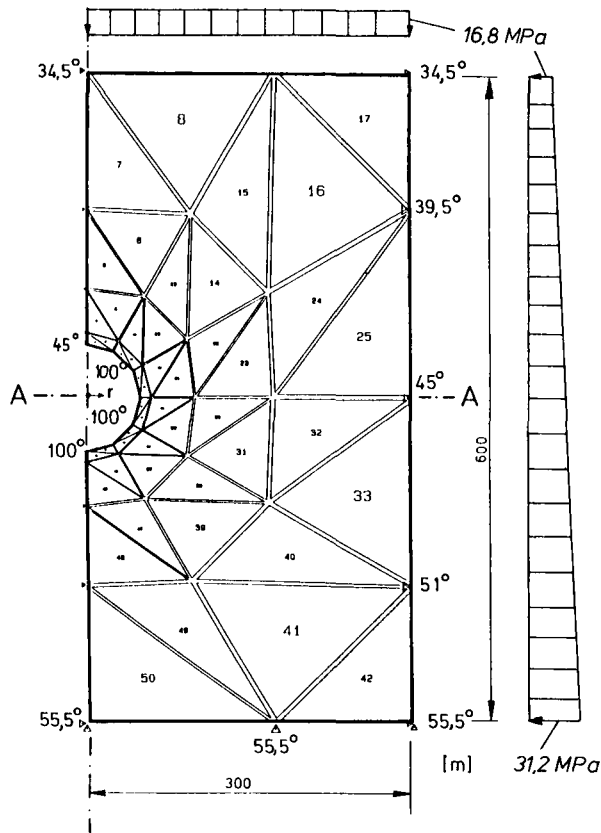
Bild 5b:

Plastizieren einer Scheibe mit Loch unter Zugbeanspruchung für verschiedene Laststufen

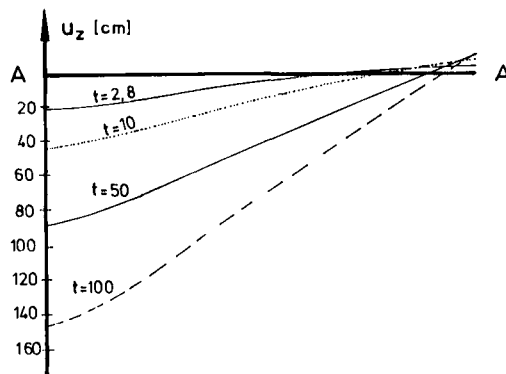
— Darstellung von Fließzonen —

ren – ist derzeit Gegenstand der Forschung und wirft vor allem Probleme für die Stabilität der Integrationsverfahren auf.

Auf diesem Gebiet gekoppelter Problemstellungen hat Professor Zienkiewicz entscheidende Impulse gegeben und effiziente, stabile Algorithmen entwickelt, z.B. für transiente thermo-mechanische Deformationsprozesse, oder die Fluid-Festkörperinteraktion von Dämmen einschließlich der sukzessiven Erfassung von Schäden, etwa bei Durchströmungen. Überhaupt ist zu sagen, daß das komplexe Tragverhalten von Staudämmen den Ingenieur und Finite-Element-Spezialisten Oleg Zienkiewicz sein ganzes Berufsleben fesselte.



Geometrie, Diskretisierung, Temperatur-
randbedingungen und Belastung



Verschiebung u_z im Schnitt A-A

Bild 6, siehe auch nächste Seite

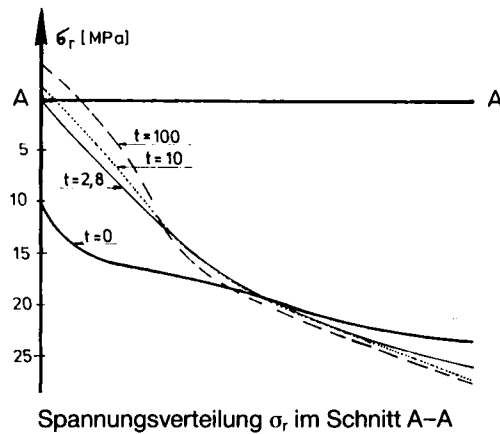
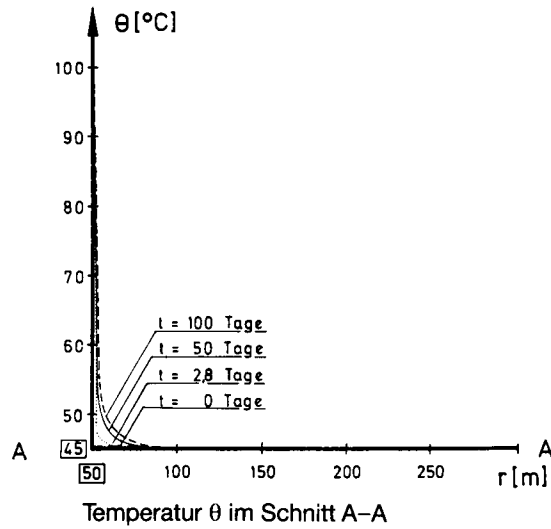


Bild 6:
 Thermo-mechanische Kriechberechnung eines Zylinders
 aus Steinsalz mit kugelförmiger Kaverne
 – Diskretisierung und FE-Lösungen für die Temperatur,
 die Radialspannung und die Axialverschiebung
 im Schnitt A-A –

Wenn man den Weg von der Laplaceschen Differentialgleichung $\Delta \phi = 0$ – und dem Hochgefühl von Laplace über diese grundlegende Modellbildung für viele wichtige physikalische Phänomene – bis zu den verwickelten nichtlinearen Operatoren heutiger Modellbildungen im Rahmen einer phänomenologischen Betrachtung, etwa für thermomechanische Deformationsprozesse von Metallen, von Salz oder von Meereis verfolgt, muß man sich des konsekutiven Vorgehens beim Verschärfen eines Modells vom groben zum komplizierten und manchmal schließlich zum einfachen mathematischen Abbild der physikalischen Realität bewußt sein. Wenn wir gut sind, denken wir zwar richtig, aber nicht notwendigerweise vollständig, und die hieraus möglichen Irrtümer und Einschränkungen kann nur das geeignete Experiment im richtigen Maßstab und letztlich die Erfahrung mit der Konstruktion erbringen.

Was leisten nun die heutigen Berechnungsverfahren für unsere Konstruktionen im Vergleich zu den von-Hand-Methoden?

Wir können bei der FE-Diskretisierung Geometrie, Randbedingungen und Belastung wirklichkeitsnäher modellieren, Sensitivitätsstudien im Hinblick auf Optimierungsfragen verschiedener Art durchführen, Versagenszustände, Bruch- und Crashvorgänge mit Einschränkungen so simulieren, daß man auf große Versuchsserien verzichten kann und außerdem wesentlich bessere Einsichten in die reproduzierbaren Abläufe gewinnt, etwa mit der Computer-Animation eines Bruchvorganges.

All dies ist mit von-Hand-Rechnungen nicht möglich, auch nicht mit Programmen für einfache, geschlossene analytische Lösungen.

Aus dem Maschinenbau und dem Bauwesen sei die Kopplung von CAD mit der FEM genannt, womit es gelingt, Strukturen aus vielen hundert Teilen vollständig im Rechner zu konstruieren, zu berechnen und zu archivieren. Schließlich sei auf die Umformtechnik hingewiesen, in der die FEM ein sehr wichtiges Hilfsmittel zur Verbesserung der technischen Prozesse ist.

Die große Verbreitung und Leistungsfähigkeit der Finite-Element-Programmsysteme im Vergleich etwa mit den Differenzverfahren beruht auf der modularen und einfachen logischen Struktur der Algorithmen und damit der leichten „horizontalen“ Erweiterbarkeit auf einer theoretischen Ebene wie z.B. unterschiedliche Strukturelemente im Rahmen der linearen Elastizitätstheorie trotz ggfs. sehr verschiedenen zugehörigen Differentialgleichungen. Darüber hinaus besteht die recht einfache „vertikale“ Erweiterbarkeit für verschiedene nichtlineare Theorien und deren Kopplungen in einer inkrementellen Betrachtung mit Hilfe der tangentialen Steifigkeit.

Auf all den genannten Gebieten hat Professor Zienkiewicz vom Beginn der 60er Jahre bis heute substantielle und richtungsweisende Beiträge geleistet und in etwa 350 Veröffentlichungen aus seinem Civil Engineering Department in Swansea die neue Richtung „computational mechanics“ und weitergehend „computational physics“ maßgebend mitgeprägt.

Es stellt sich die kritische Frage nach dem Nutzen, der Vertrauenswürdigkeit und den Beschränkungen komplexer aber im Vergleich mit der Wirklichkeit immer noch eingeschränkter und idealisierter mechanischer und numerischer Modellbildungen für schwierige technische Probleme. Oleg Zienkiewicz hat stets aus seinem Selbstverständ-

nis und seiner Verantwortlichkeit als Ingenieur heraus das Sinnvolle vom Machbaren unterschieden und die neuen Hilfsmittel richtig eingeordnet.

In einer Art Gegenbewegung werden heutzutage auf Tagungen und im Schrifttum sozusagen in Cassandra-Rufen sicher in Einzelfällen belegbare und trotzdem in der Verallgemeinerung gewagte Thesen verbreitet, z.B. „daß nur das berechnet wird, was man rechnen kann, nicht was man müßte“ und im Gegenzug die Vorstellung vom „klassischen ganzheitlichen Ingenieur beschworen, der wertend und kritisch denkt, statt gläubig zu rechnen“.

Der heutige Tag und dieses Forum empfehlen eine Auseinandersetzung mit dieser Frage der geänderten Denk- und Arbeitsweise in der Technik und angewandten Physik in der beginnenden Ära der Informationswissenschaften, d.h. der Verwendung vernetzter Rechnersysteme und vor allem in Zukunft die Einbeziehung wissensbasierter integrierter Softwaresysteme.

Professor Zienkiewicz wird in seinem Vortrag „The Challenge of Computational Mechanics“ sicher auch auf diese Fragen eingehen.

Die angesprochene Auseinandersetzung ist ein Generationsproblem und hat viele historische Parallelen. Große Veränderungen lassen sich in der Regel nicht durch Einsicht, sondern nur durch die nächste Generation durchführen – und auch ertragen.

Goethe drückt es wie folgt aus:

Das Durchsetzen neuer Erkenntnisse und Denkweisen wird weniger durch mangelndes Verstehen behindert, sondern ist ein Generationsproblem.

Als konkreten – und eigentlich selbstverständlichen – Hinweis auf das Verhalten im Spannungsfeld der Bearbeitung einer Ingenieuraufgabe darf ich bemerken, daß das „sowohl als auch“, das wahrhaft dialektische Denken im Bewußtsein aller Modellmängel mit Verzicht auf jede – auch abwehrende – Ignoranz Grundlage moderner Teamarbeit sein sollte. Dort kann jeder mit seiner Kompetenz wie in der Ringparabel des Nathan das eigene Wissen sowie Erfahrung und Intuition aus der jeweiligen Sicht der materiellen Wahrheit einbringen und dem kritischen Urteil, also dem Wettbewerb von Geist, Zeit und Geld anheimstellen.

Bei allen Schwierigkeiten, Unzulänglichkeiten und Mißverständnissen im Umgang mit der „computational mechanics“ darf im übrigen nicht übersehen werden, daß eine Reihe wichtiger Entwicklungen der heutigen Technologie ohne die Finite-Element-Methode kaum vorstellbar sind, z.B. im Bereich der Luft- und Raumfahrt, des Automobilbaus, des Brückenbaus und übergeordnet der Bauweise mit faserverstärkten Kunststoffen und anderen neuen Werkstoffen und deren Versagensverhalten im System.

Meine Damen und Herren, lassen Sie mich nun den Lebensweg des Mannes etwas skizzieren, der willens- und leistungsstark eine breite und tiefe Spur in die Entwicklung von Ingenieurmethoden gelegt hat.

Olgierd C. Zienkiewicz wurde am 18. Mai 1921 in Caterham, England, geboren. Der Vater war Jurist aus Polen, die Mutter Engländerin. Die Familie zog aus beruflichen Gründen im Jahre 1922 nach Polen zurück. Oleg bereitete sich nach dem Abitur auf die strenge Aufnahmeprüfung an der Polytechnischen Hochschule in Warschau vor,

die am 7. September 1939 stattfinden sollte. Am 2. September marschierten deutsche Truppen in Polen ein, und nun begann zunächst getrennt und später vereint mit der Familie eine Odyssee über Italien nach Frankreich und endete, wiederum kurz vor dem Eintreffen deutscher Truppen an der Atlantikküste im Juni 1940, mit der Flucht auf einem polnischen Dampfer nach England am 22. Juni 1940.

Schon im Herbst 1940 begann er, wie anfangs erwähnt, das Bauingenieurstudium am Imperial College in London. Nach Doktordiplom in 1945 und 4 Jahren Berufspraxis nahm er 1949 eine Dozentenstelle an der Universität Edinburgh an. Dort beschäftigte sich Professor Zienkiewicz vor allem mit dynamischen Problemen des Maschinenbaus, z.B. den Beanspruchungen in Wasserschlossern.

In diese Zeit fällt das Kennenlernen Ihrer Frau Gemahlin, damals einer kanadischen postgraduate Studentin der Chemie.

Von verschiedenen Angeboten wählten Sie im Jahre 1957 eine Tätigkeit im Bauingenieurbereich der Northwestern University in den USA aus und wurden schon ein Jahr später full professor, übrigens zusammen mit S.L. Lee, mit dem Sie einen freundschaftlichen Wettstreit austrugen, wer mehr Arbeiten pro Jahr veröffentlichte. – Es war offensichtlich ein Kopf-an-Kopf-Rennen.

Im Jahre 1961, d.h. in Ihrem 40sten Lebensjahr, erfolgte dann der Weg zurück nach Großbritannien mit der ehrenvollen Berufung als Professor und Head of Department of Civil Engineering an der Universität von Swansea in Wales. Dort haben Sie die Lawine von Forschung und Entwicklung ins Rollen gebracht, von der eingangs die Rede war – und um in unserer Sprache zu bleiben: Die Bewegungsenergie dieser Lawine ist immer noch im Wachsen, wenn man als Kriterium die Zahl der jährlichen Veröffentlichungen über der Zeitachse aufträgt.

Ich möchte nun einige wesentliche Beiträge von Herrn Zienkiewicz und seinem Team auf dem Gebiet der Numerischen Mechanik kurz zusammenfassen:

- 1965 Ein nicht C^1 -konformes (d.h. die geometrischen Übergangsbedingungen bezüglich Durchbiegungen und Drehungen nicht voll erfüllendes) dreieckförmiges Plattenelement unter Verwendung homogener Koordinaten und die Einführung des patch tests nach einem Vorschlag von Bruce Irons. Hierbei wird ein Ensemble (patch) von nicht konformen Elementen nach den Bedingungen für Konvergenz untersucht. Dieser patch test spielt in erweiterter Form auch heute noch eine sehr wichtige Rolle.
- 1968 Die Einführung isoparametrischer, d.h. gleichparametrischer Ansätze für die Ausgangsgeometrie und die verformte Konfiguration finiter Elemente, wieder zusammen mit Bruce Irons.
- 1968 Das Konzept sogenannter degenerierter Schalenelemente durch sofortige Diskretisierung, d.h. Wahl von Ansätzen über die Schalendicke und Verwendung eines transversal Schubelastischen Kontinuums. Damit wird die Schalentheorie nur bezüglich der Kinematik benutzt. Hierbei waren S. Ahmad und B. Irons beteiligt.

- 1971 Die wichtige Einführung der reduzierten numerischen Integration und damit einer verringerten Steifigkeit zur Ausschaltung des Lockens, d. h. des völligen Versteifens Schubelastischer dünnwandiger Strukturen zusammen mit R. L. Taylor aus Berkeley und J. M. Too.
- 1969 Algorithmen und Programme für elastoplastische Deformationsprozesse, die Entwicklung der inkrementell-iterativen „initial stress approach“, der Anfangsspannungsmethode, zusammen mit S. Valliapan und I. P. King.
- 1972 Algorithmen für das elasto-visko-plastische Deformationsverhalten zur Beschreibung des Kriechens von Werkstoffen, die später für Umformprozesse erweitert wurden, zusammen mit I. Corneau, der auch Stabilitätskriterien für den Zeitschritt angab.
- 1973 Finite-Element-Methoden für die Navier-Stokes Gleichungen zur Beschreibung der Strömung viskoser inkompressibler Fluide mit Einführung des sogenannten upwinding in den Konvektionstermen zur Vermeidung numerischer Instabilitäten.
- 1974 Penalty-Methoden für Nebenbedingungen, z. B. für die Inkompressibilität oder für Kontaktprobleme.
- Seit 1981 Hierarchische Finite-Element-Konzepte und die selbstadaptive Netzverfeinerung mit Hilfe einfacher, mechanisch anschaulicher Fehlerindikatoren.

Als übergreifende Forschungsthemen, sicher auch stimuliert durch die ersten Berufsjahre, sind Stoffgleichungen und Algorithmen in der Bodenmechanik, insbesondere für Erddämme, und in der Felsmechanik zu nennen.

In den letzten Jahren beschäftigten sich Professor Zienkiewicz und verschiedene Mitautoren, insbesondere Professor Mroz, mit Zweiphasen-Modellen zur Beschreibung der Bodenverflüssigung, der Konsolidation und vor allem des Versagens von Dammbauten.

Diese Auswahl mag genügen; sie ist unvollständig, läßt aber den Reichtum an Ideen erkennen, die in das neue Forschungsgebiet eingeflossen sind.

Es sei ein Ausblick auf die weitere Entwicklung gestattet. Bei der Suche nach optimalen Elementen, wenn möglich mit Superkonvergenz-Eigenschaften, spielen gemischte Variationsprinzipien, z. B. nach Hellinger-Reißner und Hu-Washizu, eine tragende Rolle. Sie sind die Grundlage für gemischte Methoden, z. B. mit Parameteransätzen für Verschiebungen und Spannungen. Hierfür ist jedoch eine tiefgehende mathematische Begründung sehr nützlich, ja oft unerlässlich. Die Finite-Element-Lösungen liegen in Sobolev-Räumen, und die Fehleranalyse hierzu ist schwierig. So ist z. B. das Verständnis und die Konsequenz der LBB-Bedingung (der Ladyshenskaja-Brezzi-Babuska-Bedingung), einer sehr ernst zu nehmenden globalen Stabilitätsbedingung für Sattelpunktsprobleme, derzeit nur mit erheblichen mathematischen Hilfsmitteln in die Konstruktion stabiler Ansätze umsetzbar.

Diese Bedingung kann aber auch durch mechanische Überlegungen an „patches“ sehr anschaulich und trotzdem tiefgehend geklärt werden, wie Olec Zienkiewicz gerade in der letzten Zeit zeigte.

Am Beispiel eines offenen Rohres mit zwei Einzellasten, siehe Bild 7, kann man erkennen, daß bei Verwendung isoparametrischer Vierknotenelemente mit reduzierter Integration (zur Vermeidung des sogenannten Locking) verzerrungsfreie und damit energiefreie Verschiebungszustände, sogenannte „spurious modes“, zusätzlich zu den zugelassenen Starrkörperverschiebungen entstehen, die zur drastischen Abnahme der Regularität der tangentialen Steifigkeitsmatrix und damit zu Oszillationen der Ergebnisse führen. Weiterhin ist in Bild 7 zu erkennen, daß man eine Stabilisierung vornehmen kann und so zuverlässige Ergebnisse erhält.

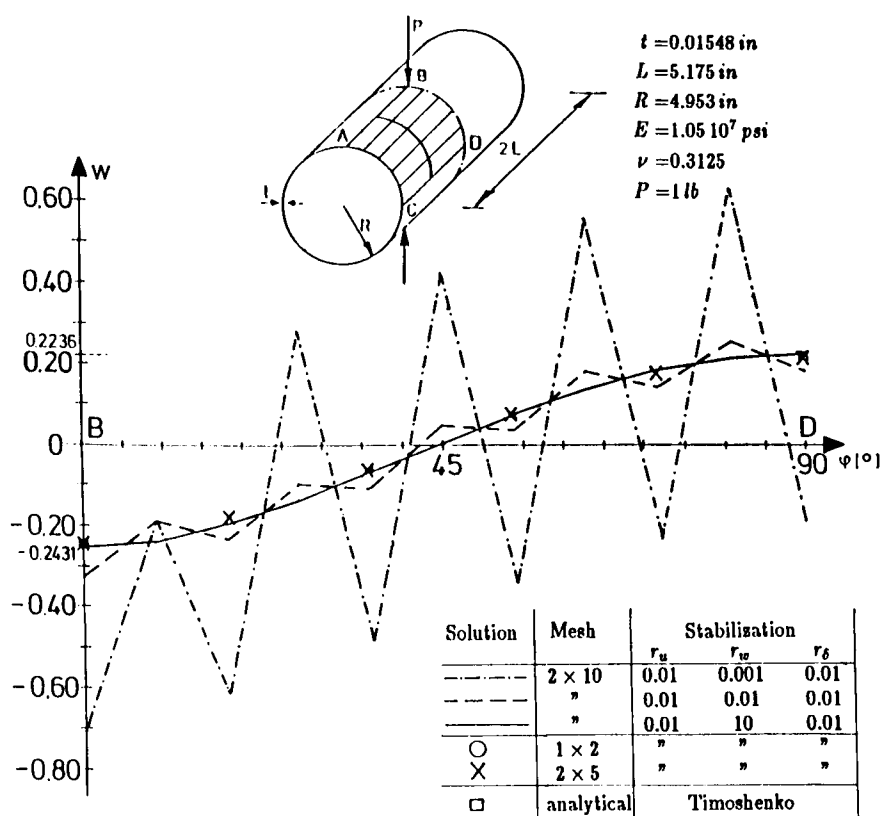


Bild 7:

Radialverschiebung in der Mitte eines offenen Rohres infolge zweier Einzellasten

– Oszillationen der FE-Lösung infolge „spurious modes“ und deren Stabilisierung –

Es wird deshalb eine verstärkte Zusammenarbeit mit aufgeschlossenen Mathematikern benötigt, um durch verschiedene Betrachtungsweisen neue konstruktive Ideen hervorzubringen, die Fehleranalysis auszubauen und so selbstadaptive, stabile und robuste Elemente und Löser zu entwickeln, die zur Eigendiagnose fähig sind.

In Bild 8 ist die automatische a posteriori Netzverdichtung einer Scheibe mit Riß dargestellt. Es werden Viereck- und Dreieckelemente verwandt. Als Fehlerindikatoren werden die Integrale der Quadrate der Spannungssprünge an den Elementrändern verwandt. Zusätzlich werden Forderungen für die Verhältnisse der Elementabmessungen u. a. m. berücksichtigt.

Weiterhin haben neue Rechnerarchitekturen, z.B. Vektor- und Parallelprozessoren, Auswirkungen auf die Struktur der Algorithmen. Es gilt die These: „The computer shapes the theory“. Spezielle Algorithmen, z.B. die Multigridmethode, können jedoch auch besondere Hardware-Entwicklungen bewirken.

Wiederum ist Professor Zienkiewicz als Schrittmacher einer engen Zusammenarbeit mit bedeutenden Mathematikern zu nennen, z. B. den Professoren Babuska und Glowinsky. Neue ergänzende, integrierte Studiengänge wie „Technomathematik“ oder „Systemingenieur“ sollten den Boden für die zukünftig geforderte Teamarbeit bereiten.

Lassen Sie mich nach diesem Exkurs in die Zukunft noch einige weitere Bereiche des Schaffens von Oleg Zienkiewicz herausstellen:

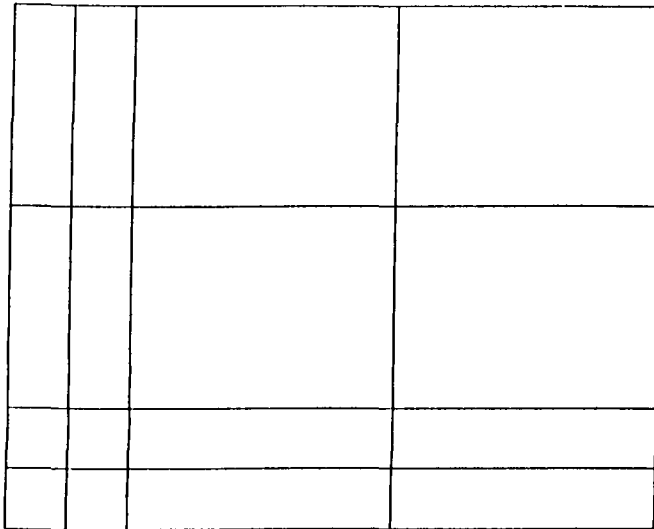
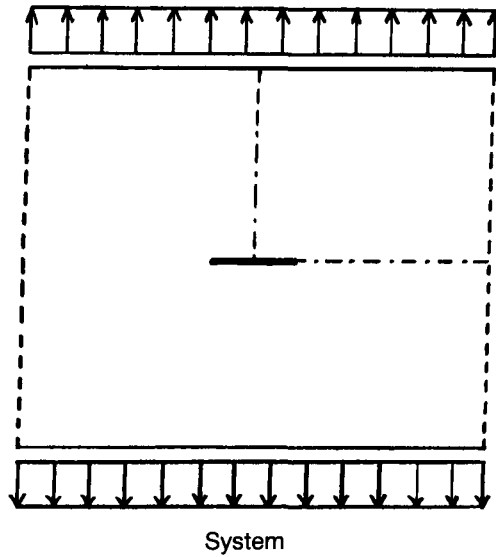
Eine besondere Rolle unter den insgesamt etwa 350 Veröffentlichungen nimmt das erste Lehrbuch über die Finite-Element-Methode ein, das 1967 zusammen mit Y.K. Cheung unter dem Titel „The Finite Element Method in Continuum and Structural Mechanics“ mit 272 Seiten herausgebracht wurde und ins Japanische und Russische übersetzt wurde. Die 2. Auflage, 1972, hatte bereits fast 500 Seiten und wurde zusätzlich ins Französische, Deutsche und Polnische übersetzt. Die 3. Auflage, 1977, hat 787 Seiten, behandelt die meisten wichtigen linearen und nichtlinearen Aspekte der FE-Methode und wurde ins Spanische, Französische und Japanische übersetzt.

Neben diesem Standardwerk – „The Finite-Element-Method“ – hat Professor Zienkiewicz als Koautor und Mitherausgeber eine größere Zahl von Büchern veröffentlicht.

Von besonderem Rang ist auch die Gründung und langjährige Herausgabe der Zeitschrift: International Journal for Numerical Methods in Engineering seit 1969, derzeit im 24. Jahrgang. Diese Zeitschrift ist eine der drei oder vier führenden Publikationsorgane der computational mechanics und schließt selbstverständlich auch Finite Differenzenverfahren, Randelementmethoden und andere numerische Verfahren ein.

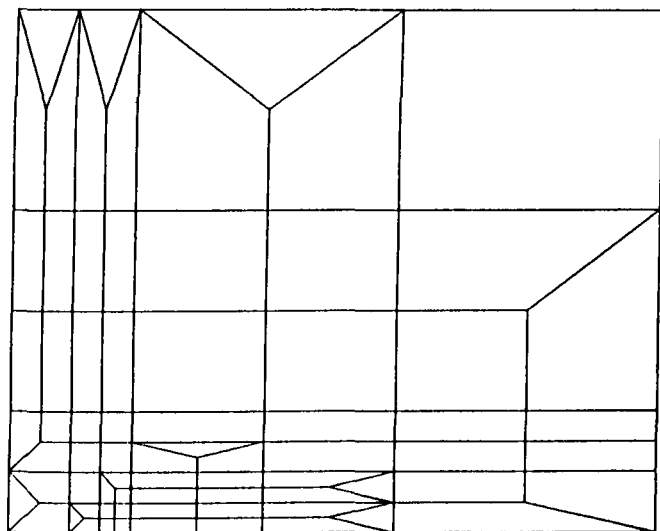
Schließlich sei von einer in die Zukunft weisenden langfristig vorbereiteten Aktivität die Rede, nämlich die maßgebliche Mitwirkung bei der Gründung der IACM, der International Association for Computational Mechanics, im Jahre 1986 in Austin/Texas anlässlich des 1. World Congress for Computational Mechanics. Oleg Zienkiewicz wurde zum ersten Präsidenten der IACM gewählt, eine gute und verdiente Wahl, zu der ich auch von hier nochmals herzlich gratuliere.

Es ist selbstverständlich, daß eine solche Leistung als Forscher, Lehrer und Promotor eine Fülle hochkarätiger Ehrungen bewirkte.

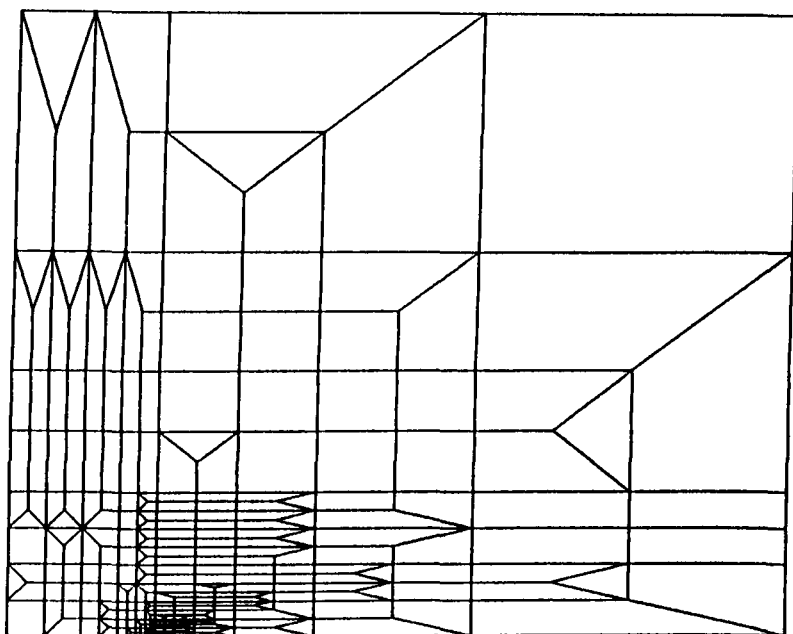


16 Elemente

*Bild 8:
Automatische Netzverdichtungen einer Scheibe mit Riß aufgrund von a posteriori
Fehlerabschätzungen der FE-Lösungen*



73 Elemente



337 Elemente

Fortsetzung Bild 8

Professor Zienkiewicz erhielt die Ehrendoktorwürden der Universitäten von Lissabon und Irland, der Northwestern Universität (USA), der Universität Trondheim und der Chalmers Politechnischen Hochschule in Göteborg.

Eine sehr hohe Auszeichnung war die Wahl zum Mitglied der Royal Society in London und ebenso die auswärtige Mitgliedschaft der United States National Academy of Engineering. Weiterhin sind Mitgliedschaften wissenschaftlicher Gesellschaften in Großbritannien und außerhalb zu nennen.

Eine große Freude hat ihm sicher die Wahl zum auswärtigen Mitglied der Polnischen Akademie der Wissenschaften bereitet.

Als besondere verliehene Medaillen sind zu nennen; übrigens alle im Jahre 1980:

die James Alfred Ewing Medal
der Institution of Civil Engineers,
die Nathan Newmark Medal
der American Society of Civil Engineers,
die Worcester Warner Reid Medal
der American Society of Mechanical Engineers.

Kommen wir zurück zur heutigen Ehrung:

Carl Friedrich Gauß, der Namensgeber für die Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, lieferte viele grundlegende Beiträge für die numerische Mathematik, z. B. zur Lösung linearer Gleichungssysteme und zur numerischen Integration von Funktionen mit optimal gewählten, nicht äquidistanten Stützstellen. Diese Quellen sind von grundlegender Bedeutung für Finite-Element-Verfahren. Weiterhin spielt der Gauß'sche Integralsatz eine zentrale Rolle bei allen Variationsformulierungen, der Grundlage für die Finite-Element-Verfahren. Es ist deshalb zu vermuten, daß sich ein Wissenschaftler, der in der FEM besondere Leistungen erbracht hat, mit der Assoziation Gauß besonders geehrt fühlt.

Meine Damen und Herren, gestatten Sie mir zum Abschluß einige übergreifende Bemerkungen. Das umrissene bisherige wissenschaftliche Werk von Oleg Zienkiewicz läßt sich nur verstehen, wenn man seine mitreißende, lebenswürdige Spontaneität, seine Hilfsbereitschaft und Diskussionsfreudigkeit und vor allem den durch intuitives, ingenieurmäßiges Denken geleiteten Ideenreichtum kennt. So ist es nicht verwunderlich, daß neben den Mitarbeitern und postgraduate Studenten ständig mehrere ausländische Wissenschaftler als Stipendiaten in Swansea tätig sind und ihrerseits Ideen einbringen. Sie haben Ihre Swansea-Schule vorbildlich aufgebaut und bestellt und können mit Stolz auf eine Kette hervorragender Studenten zurückblicken, die heute führende Positionen als Professoren innehaben. So kann man vielleicht mit Prospero in Shakespeare's „Der Sturm“, „The Tempest“, sinnieren: „Now does my project gather to a head: My charms crack not; my spirits obey; and time goes upright with his carriage“, oder in der Schlegel-Tieck'schen Übersetzung: „Jetzt naht sich der Vollendung mein Entwurf, mein Zauber reißt nicht, meine Geister folgen, die Zeit geht aufrecht unter ihrer Last.“

Verehrter Herr Zienkiewicz, Sie haben viel wissenschaftliches Neuland in Pionierarbeit kultiviert, Siedler herbeigerufen und sie zum Bleiben auch unter oft großen Anstrengungen für beide Seiten überzeugt. Dabei ist die Ausgewogenheit von geistiger und körperlicher Betätigung sehr wichtig für die innere und äußere Harmonie. Auch dies haben Sie früh erkannt und widmen Ihre bescheidene Freizeit dem Segeln, dem Tauchen an Meeresküsten, sowie langen Waldspaziergängen verbunden mit der Beobachtung von Vögeln. Wir wünschen Ihnen, daß Ihre enge Naturverbundenheit und die Geborgenheit im Schoße Ihrer Familie die Energie für schöpferische Arbeit in den kommenden Jahren spendet und daß Ihr weltweiter Freundes- und Verehrerkreis Sie noch lange als unus ex nobis behalten darf.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

The Challenge of Computational Mechanics

Von **Olgierd C. Zienkiewicz**, Swansea U.K.

The honour of being today the recipient of the Gauss medal I take not only as a personal appreciation for which I am grateful, but as recognition of the importance of the subject of Computational Mechanics in modern engineering.

Since the foundation of mechanics have been laid by Sir Isaac Newton and the formulation of continuum mechanics and thermodynamics at the start of the nineteenth century, the Engineer has been provided with the basis by which he could assess the performance of his artefacts – be they dams and bridges of the civil engineer, combustion engine of the mechanical engineer or flying machines and satellites of this century's aerospace engineering.

However theoretical mechanics provided only the underlying science – and from that point to the quantitative prediction needed in design a large step remained.

In the words of von Karman,
Science studies what is –

– Engineering creates what never has been.

– In this process of 'creation', though imagination plays an essential role (which will never be usurped by computers), a detailed quantitative prediction is essential.

Such prediction is the essence of engineering science – and at all stages involves 'computation'. In the early part of this century the slide rule has been the symbol of the engineer as much as the drawing board. However many problems though understood well physically remained outside the engineers grasp through his inability to solve the mathematical equations involved. To overcome this, painstaking model and prototype experiments – with a high failure rate – had to be accepted as the norm.

Today the situation is drastically altered. The power of the computer, which has grown exponentially since the fifties, permits the numerical solution of very complex problems. The early work of such pioneers as Richardson (1910) also first realized that numerical solution of elasticity problems is feasible and Southwell (1940) who through relaxation methods made such solutions more widely acceptable formed the base on which modern numerical methods coupled with computational power make almost all problems tractable.

The finite element method – which was unthinkable as a practical procedure before the computer, and its special cases of finite difference, boundary solution methods, spectral approximations, etc. provide today a tool which, in principle at least, opens all doors.

The solution of complex, realistic behaviour through computational means forms the basis of the subject which today we term *Computational Mechanics* (or if we accept

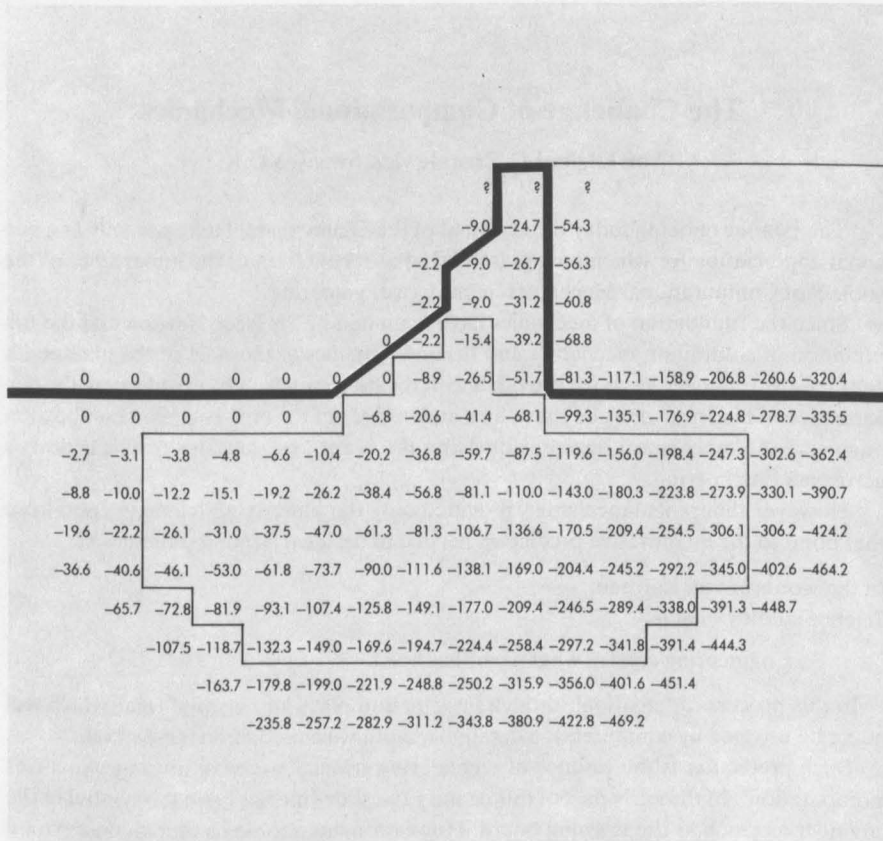


Fig. 1:

*The first numerical approximation analysis. The Aswan Dam – L. F. Richardson.
(Numbers refer to the values of the Airy stress function).*

that the possibilities offered can be extended beyond the field which classically are associated with mechanics of *Computational Modelling* phenomena).

Figures 1 through 5 illustrate some of the early as well as more recent computer predictions of engineering situations. Clearly much has been achieved and commercial codes available to all (at a price) allow the engineer to solve readily many situations which were, before the advent of the computer, intractable. CAD (Computer Aided Design) incorporates many of such 'solutions' and in some industries this is used daily.

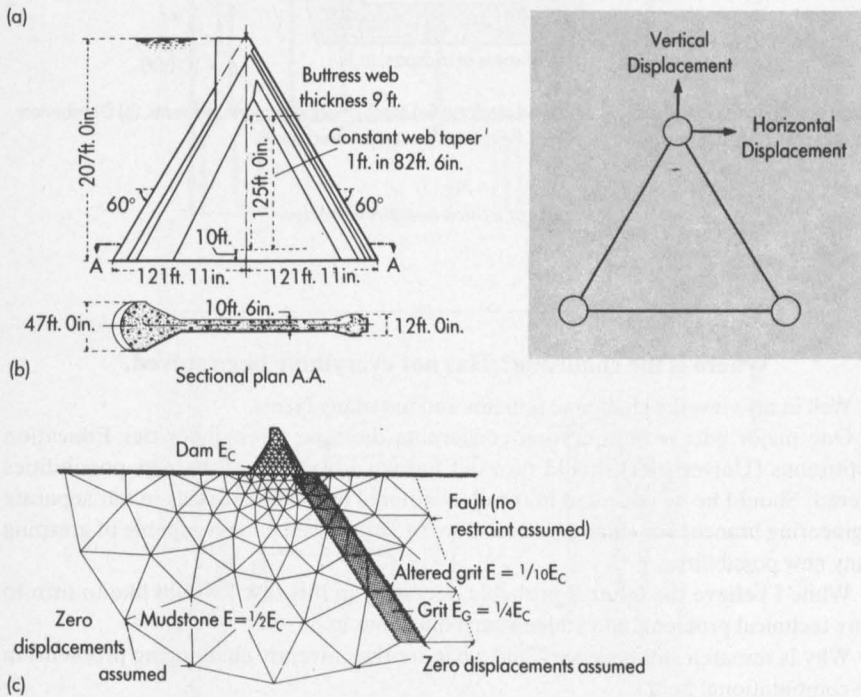
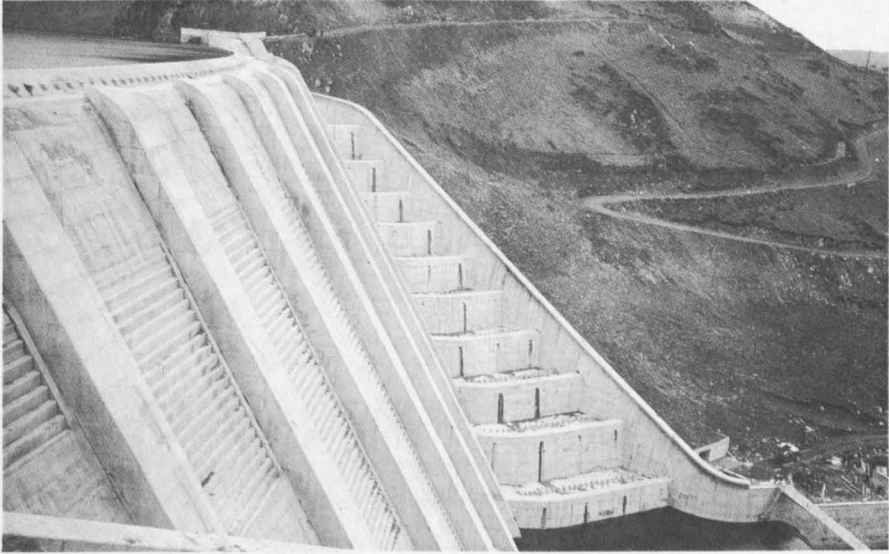
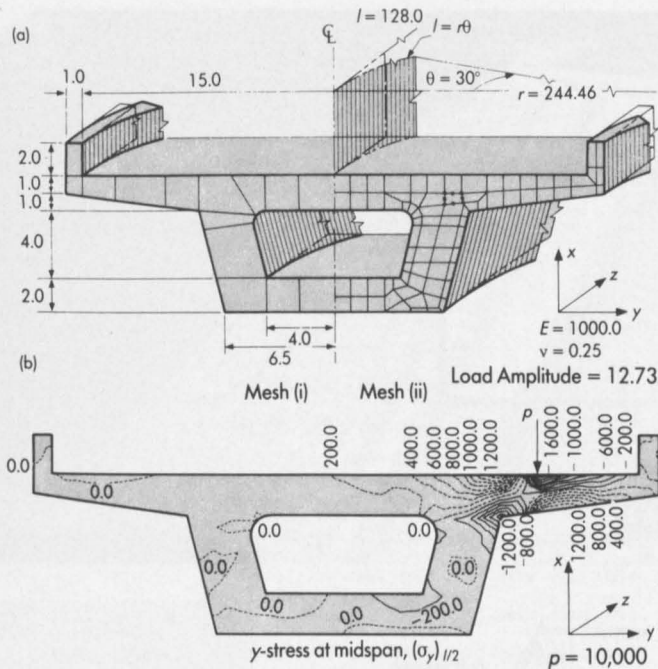


Fig. 2:
First finite element analysis in design process. Clywedog Dam, Wales 1964.



A thick box bridge prism of straight or curved platform. (a) Mesh of isoparametric elements. (b) Distribution of σ_y stress on midspan; computer stress plot. Point load on cantilevered span.

Fig. 3:
Analysis of a thick box girder bridge.

Where is the challenge? Has not everything been solved.

Well in my view the challenge remains and has many facets.

One major part is the question concerning the type of engineer our Education Institutions (Universities) should turn out to take advantage of the new possibilities offered. Should he be educated in the conventional professional skills in our separate engineering branches or should he be a more broadly based person capable of grasping many new possibilities.

While I believe the latter is probably necessary in this talk I would like to turn to more technical problems and address such questions as:

Why is research still necessary and what are the currently challenging problems in the computational field?

How the impact of Computational Mechanics affects other aspects of mechanics and engineering and what are the outstanding problems of this interface?

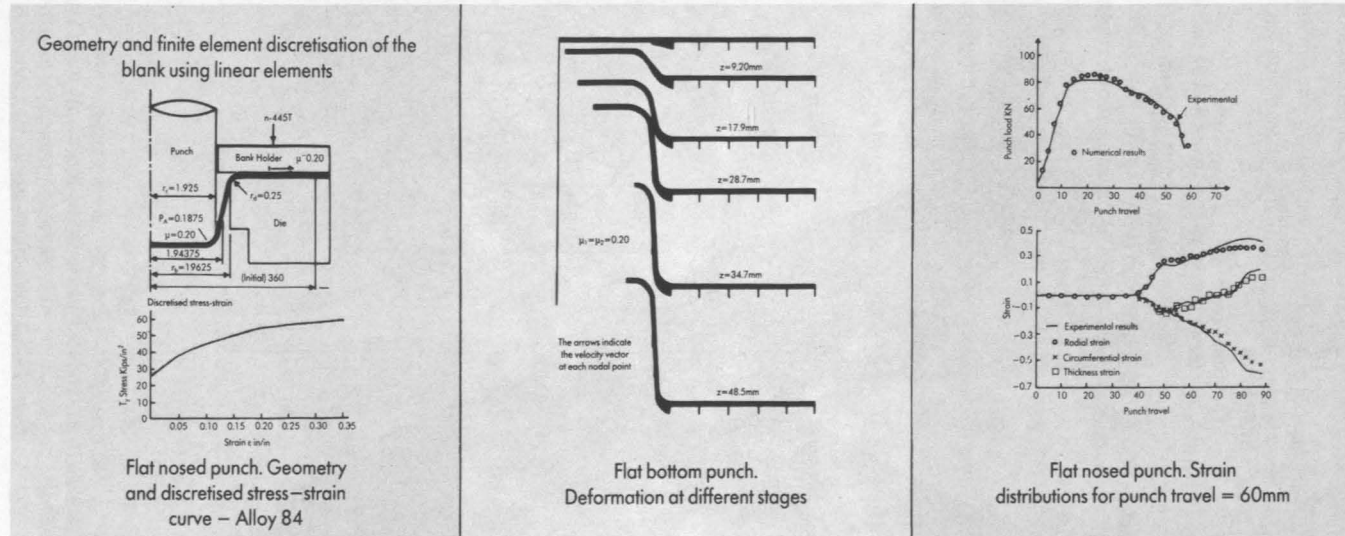


Fig. 4:
Analysis of beer can forming process. Finite element solution and experiment.

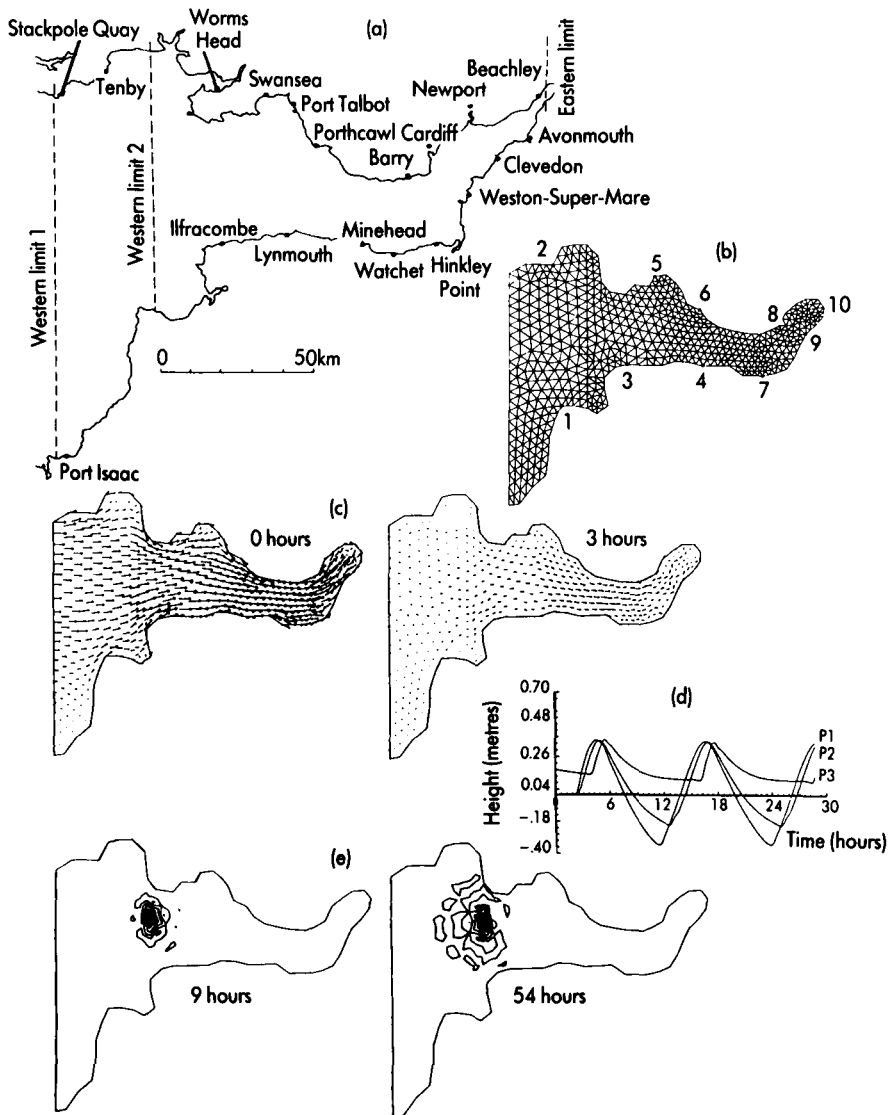


Fig. 5:

Tidal Area Solution for the Severn Estuary.

- (a) Severn estuary and the Bristol Channel, the problem area. — (b) Finite element mesh. — (c) Velocity distribution in the tidal cycle. — (d) The River Severn and bore development. — (e) Dispersion of pollutant.

Why is research still necessary and the present problems of challenge?

While in principle the numerical methodologies available today should be capable of answering many points with sufficient computer power available, continued research is necessary to

- (a) Increase the efficiency of the approximation and solution procedures to deal with constantly expanding demands.
- (b) To ensure that the extent of approximation is understood by the user – and if required to improve this approximation economically to a specified standard.
- (c) To derive numerical procedures for problems in which currently available methods fail or are inefficient.

To illustrate the importance of above I shall show how only recently breakthroughs have been achieved in the last two areas.

The first of these is the question of error estimation and adaptivity in finite element computation. Here it is only in the last decade that involvement of the mathematical

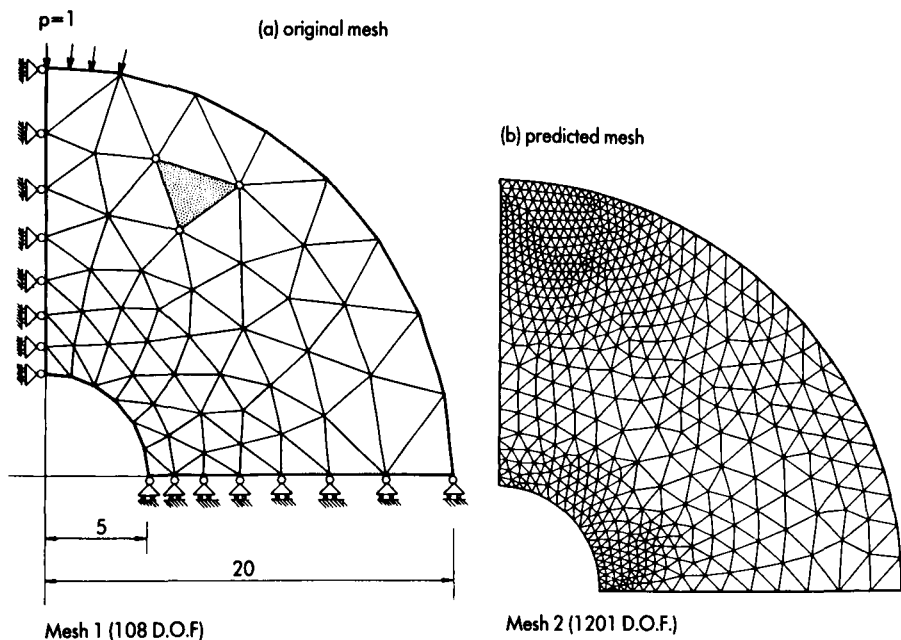


Fig. 6:

An adaptive refinement process for an elastic analysis using simple linear triangle elements.

- (a) Originally designed mesh error 34% (108 degrees of freedom). –
 - (b) Mesh designed to reduce error to 5% actual error achieved 8% (1201 degrees of freedom).
- All meshes are automatically generated and error estimators used.*

fraternity (Babuska et al 1976) has introduced the possibility of constructing error estimates after a numerical solution has been accomplished. The need for such estimates is obvious as frequently the solution given by the computer, while appearing reasonable, may be wildly inaccurate (and perhaps some of our engineering failures may be attributable to this cause).

Despite the theoretical work available only very few commercially available codes have any facilities available for such error estimation — mainly due to the relatively high cost involved in the evaluation of their early forms.

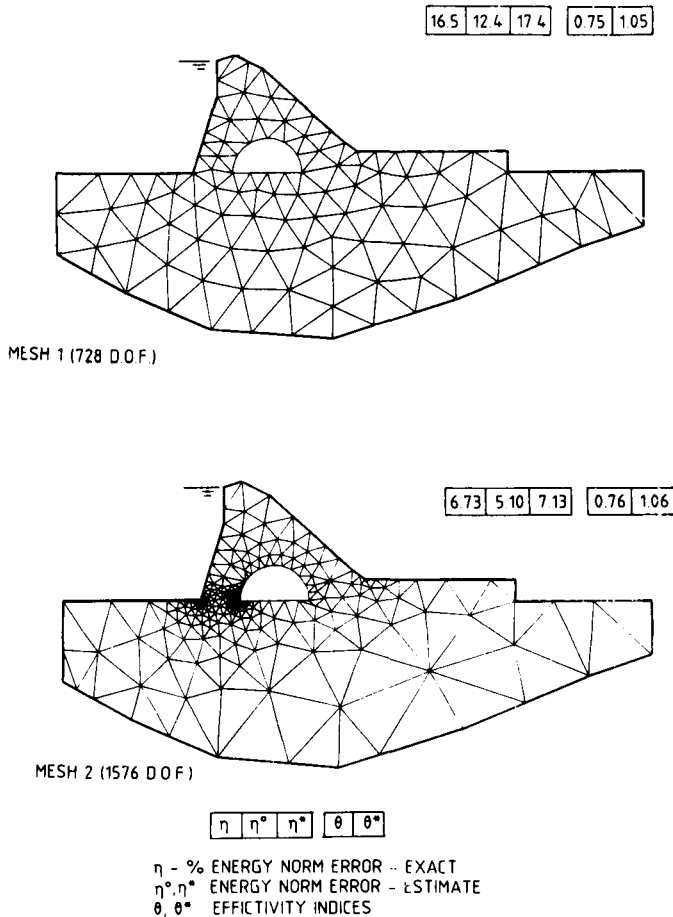


Fig. 7:

An adaptive analysis of a dam using quadratic triangles.

(a) Original mesh 728 DOF. error 16.5%. — (b) Mesh refined to achieve 5% error 1576 DOF. error 6.7%.

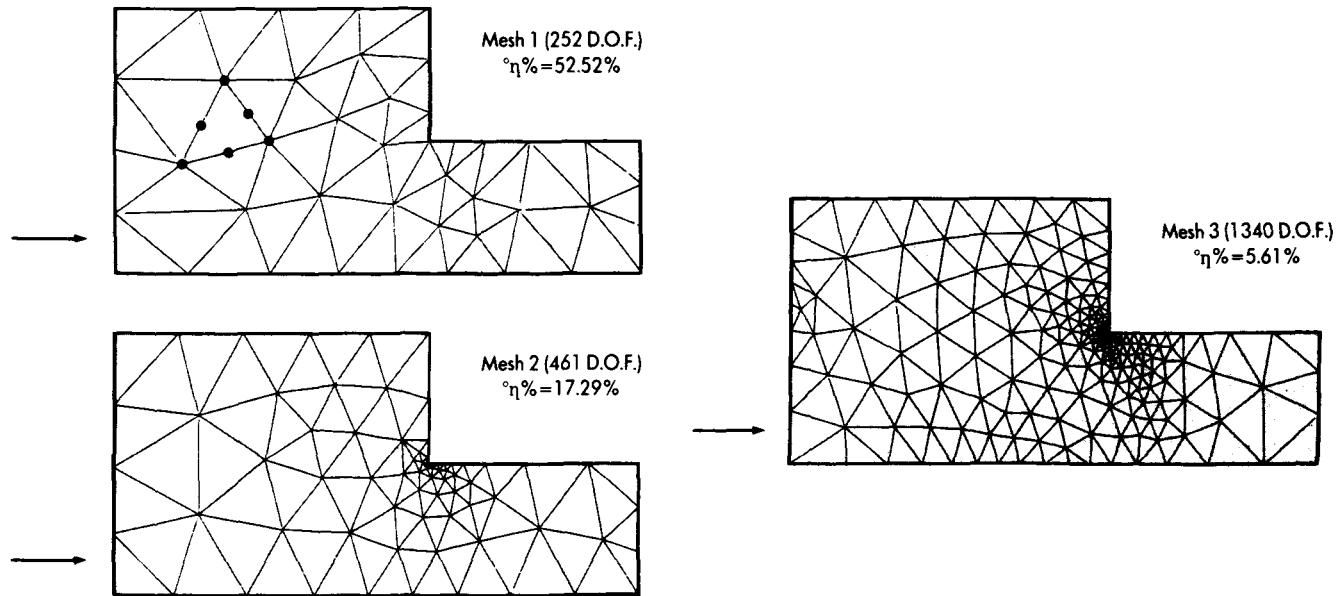
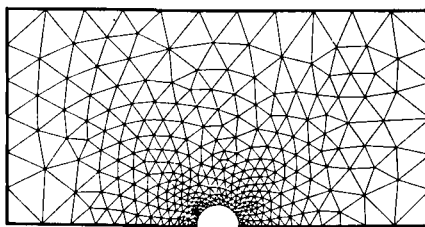


Fig. 8:
METAL EXTRUSION PROBLEM,
 Progressive mesh refinement aimed of achieving 15% and 5% errors respectively.

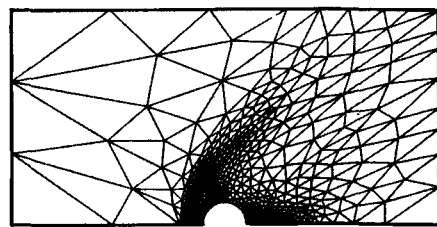
Today the situation is changing dramatically and inexpensive computation of error estimation is available which achieves a high degree of efficiency (Zienkiewicz and Zhu 1987). Not only can global estimates be readily achieved but errors computed at local (element) level can be used to guide the refinement required to reach a given accuracy level.

This poses immediately the very practical question of how can mesh refinement of a given density be best achieved and here once again research of a practical (development) nature is required. Despite many years of activity in the field such mesh generators are not easily available and were derived only recently (Morgan et al 1986) allowing triangular grids to be so constructed.

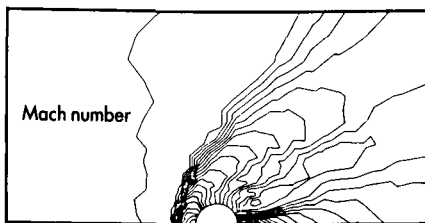
Figures 6 and 7 show how, by the use of error estimation and prediction of required mesh density, solution of given accuracy can be generated in the most common elasticity problems.



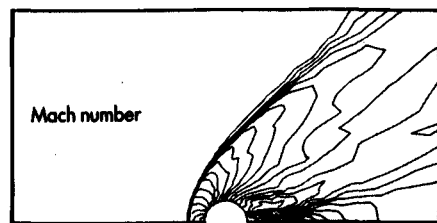
Mach 3 cylinder. First mesh: 614 elements, 345 nodes



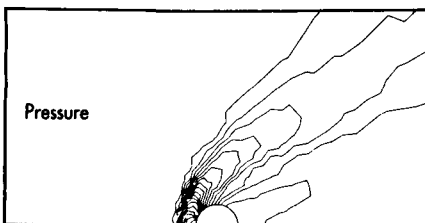
Mach 3 cylinder. Third mesh: 1027 elements, 553 nodes



Mach 3 cylinder. First mesh: 614 elements, 345 nodes

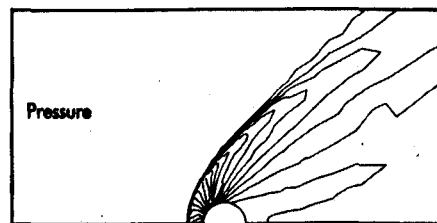


Mach 3 cylinder. Third mesh: 1027 elements, 553 nodes



Mach 3 cylinder. First mesh: 614 elements, 345 nodes

(a)



Mach 3 cylinder. Third mesh: 1027 elements, 553 nodes

(b)

Fig. 9:

Mesh regeneration used adaptively to capture shock formation in high speed compressible gas flow around a cylinder.

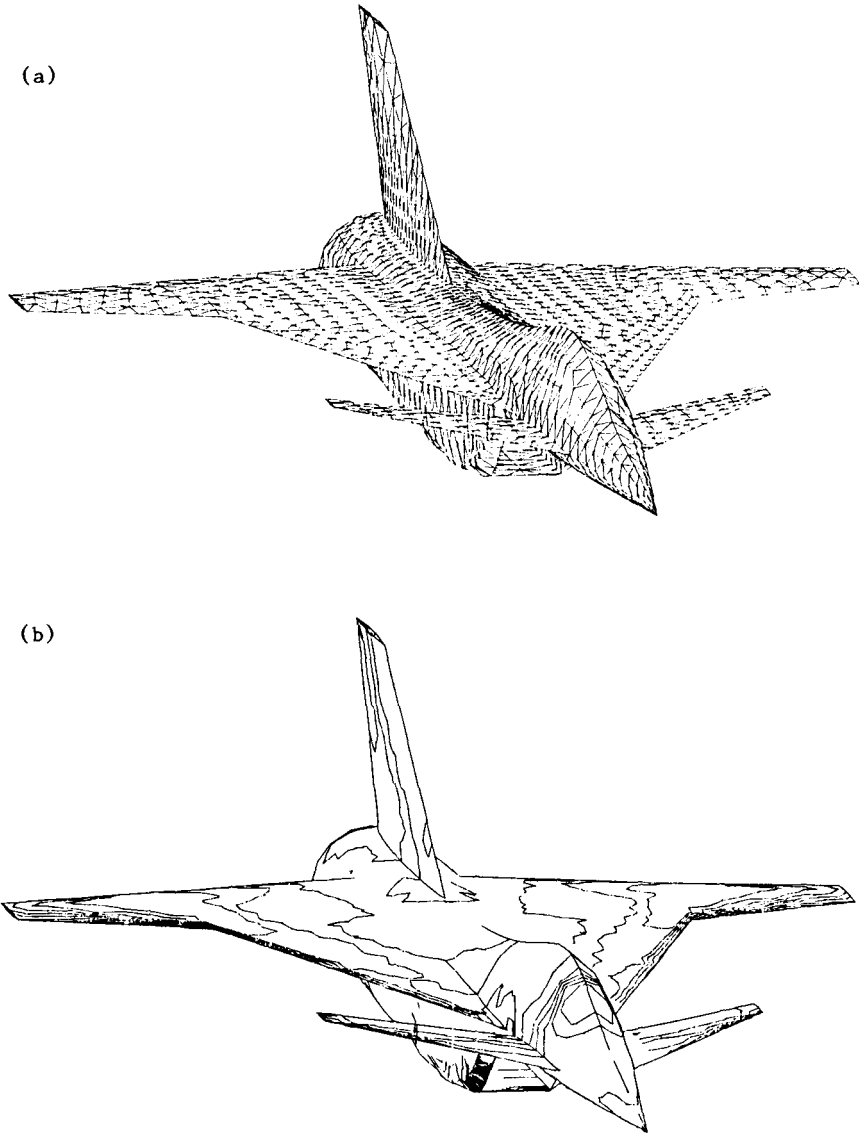


Fig. 10:

Cranked-winged experimental fighter configuration with engine intake. The finite element 3D mesh about the complete aircraft consists of 153.044 tetrahedral elements and 28.182 nodes.

(a) shows the surface triangulation and (b) the pressure coefficient distribution on the surface for an inviscid flow simulation at Mach 2 with 3° angle of incidence. Computed by J. Peaire, J. Peiro and L. Formaggio from the Institute of Numerical Methods in Engineering, Swansea.

Clearly extension of such practical procedures into other areas of computation is necessary and much current work is in progress. Figure 8 illustrates an application in a non-linear extrusion process.

The second of the examples in which only recent progress has been achieved is the area of fluid mechanics where the efficient and stable solution of convective terms is still a subject of current research.

In this area finite difference methods have predominated until the early eighties but tied to 'structured' grids their ability to tackle high speed flow and shock formation was very limited. In the last five years considerable progress has been achieved in understanding of the mathematics involved and the introduction of finite element methods into this area allows detailed studies of shock formations and other phenomena. The first solutions of flow around complete aircraft are now being attempted.

The major breakthroughs were achieved by my own group (Loehner, Morgan, Zienkiewicz, Peraire 1984–1987, and it gives me much pleasure to mention that the first of the students involved in this work came from the University of Braunschweig (showing how much can be achieved by free international co-operation).

The procedures developed involve not only novel formulations but utilize both error estimation and adaptivity to ensure efficient shock capturing.

Figures 9 and 10 show some of the applications to such problems in which both mesh 'enrichment' and mesh regeneration are used to achieve desired accuracy. Current work on three dimensional extension of the procedures promise to allow full studies of the proposed European space shuttle – the Hermes, and indeed of the British HOTOL to be undertaken.

The methodologies developed in one field allow rapid transfer of areas and in the above case permitted simultaneous solution of many coastal engineering problems (Peraire, Zienkiewicz 1986).

Impact of computational mechanics on other areas of engineering mechanics

The possibilities of computational solution of hitherto insoluble problems stimulate parallel research which previously was at best of 'academic' interest.

A case in point is the area of soil dynamics where the possibility of solving the coupled soil-pore fluid interaction led to a large effort in identifying constitutive laws of soil behaviour.

Here problems of soil liquefaction encountered in earthquake response and leading to many catastrophies have at last become amenable to quantitative solution. Such solutions have to be verified by detailed experiment and in Fig. 11 we show some results of recent collaboration work between Japan, Cambridge University and INME Swansea in which computational predictions are compared against a scale model tested in a centrifuge. The detailed comparison shows how much can be achieved by computation coupled with suitable mechanics modelling.

This example is typical of many situations in which the numerical, computation solution stimulates detailed and new studies of classical mechanics.

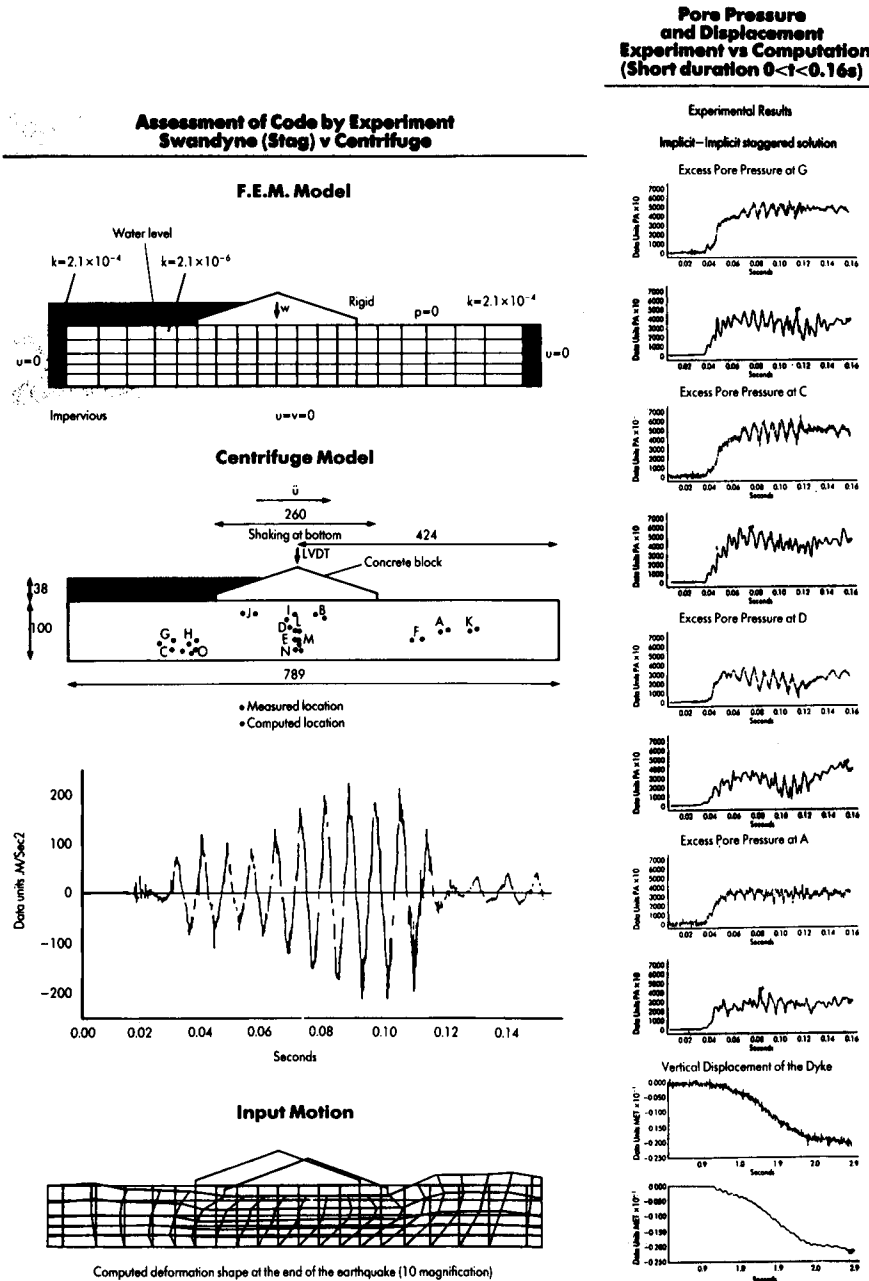


Fig. 11:

Centrifuge model of an earthquake soil liquefaction problem and corresponding finite element analysis results (Cambridge centrifuge and DIANA-SWANDYNE programm INME Swansea 1986).

Concluding remarks

The preceding has indicated by example the importance which should be attached to the subject of Computational Mechanics and some features of its impact on classical mechanics and engineering. Much more can be said about the subject which today and in the future will become more and more central to the whole of Engineering.

The 'buzz' words of *Reliability and Robustness* of computation are today much in evidence and though I have indicated some aspects connected with above much more needs to be done in the future.

An area on which I have not touched concerns the matter of Engineering Design Criteria, which today have to be considerably adjusted to take consistently into account the more precise knowledge of behaviour. Indeed in this area such topics as the "bracketing" of unknown parameters and the new area of *stochastic analysis* provides much incentive for future work.

The DREAM of many in which complete analysis can be carried out optimally and with the minimum of human intervention is achievable in some instances but its very possibility poses many dangers. It is in my view essential that only through fully professional understanding of all processes involved will true progress be made in the field of Computational Mechanics and Engineering.

References

- BABUSKA, I. and RHEINBOLDT, W.C., 1978: *SIAM J. Numer. Anal.* **15**, 4.
 LÖHNER, R., MORGEN, K. and ZIENKIEWICZ, O.C., 1985: *Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng.* **51**, 441.
 PERAIRE, J., MORGAN, K., PEIRO, J. and ZIENKIEWICZ, O.C., 1987: *AIAA 25th Aerospace Sciences Meeting*, Reno.
 PERAIRE, J., VAHDATI, MORGAN, K. and ZIENKIEWICZ, O.C., 1987.
 PERAIRE, J., ZIENKIEWICZ, O.C. and MORGAN, K., 1983: *Int. Journ. Num. Meth. Eng.* **22**, 547.
 RICHARDSON, L.F., 1910: *Trans. Roy. Soc.*, A210, 307.
 SOUTHWELL, R.V., 1956: *Relaxation methods in theoretical physics*, Clarendon Press, Oxford.
 ZIENKIEWICZ, O.C. and ZHU, J.Z., 1987: *Int. J. Num. Meth. Eng.* **24**, 337.
 ZIENKIEWICZ, O.C., LÖHNER, R., MORGAN, K. and PERAIRE, J., 1985: *Finite Elements in Fluids* (ed. R.H. Gallagher et al.), **6**, 41, J. Wiley & Sons, Chichester.
 ZIENKIEWICZ, O.C., CHAN, A.H.C., PASTOR, M. and SHIOMI, T., 1986: *Computational methods applied to soil dynamics*.

DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE

CARL-FRIEDRICH-GAUSS-MEDAILLE

HERRN PROFESSOR DR. MULT.


OLGIERD CECIL ZIENKIEWICZ, F.R.S.

IN WÜRDIGUNG SEINER HERVORRAGENDEN
WISSENSCHAFTLICHEN LEISTUNGEN
AUF DEM GEBIET DER NUMERISCHEN MECHANIK,
INSBESONDERE DER METHODE DER FINITEN ELEMENTE
IN DER STRUKTUR- UND STRÖMUNGSMECHANIK

Prof. Dr. mult. Olgierd Cecil Zienkiewicz hat bedeutende Beiträge zur Entwicklung und ingenieurgerechten Darstellung computerorientierter Berechnungsverfahren in der Mechanik geleistet und durch seine international verbreiteten Lehrbücher über die Finite-Element-Methode wesentlich zu deren Anwendung in der Ingenieurpraxis beigetragen.

Braunschweig, den 30. April 1987




Präsident
der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft

Zienkiewicz, Olgierd Cecil, F.R.S., Ph.D., D.Sc., Hon. D.Sc. mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales, Swansea/Großbritannien, 29 Somerset Road, Llandlang, Swansea SA3 4PG / Großbritannien

- geboren: 18. 5. 1921 in Caterham/England
 1943 B. Sci. (Eng.), ACGI, Imperial College, London
 1945 Ph. D., D.I.C., Imperial College, London
 1965 D. Sc., University of London
 1945–1949 Consulting Engineers Sir William Halcrow & Partners, London
 1949–1957 Lecturer, University of Edinburgh
 1957–1961 Professor of Structural and Civil Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA
 seit 1961 Professor and Head of Department of Civil Engineering, University of Wales, Swansea
 seit 1976 Director of Institute for Numerical Methods in Engineering, University of Wales, Swansea
- Publikationen:** The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics (gemeinsam mit Y. K. Cheung; McGraw-Hill 1967)
 The Finite Element Method in Engineering Science, 2nd. ed. (McGraw-Hill 1971)
 The Finite Element Method, 3rd. ed. (McGraw-Hill 1977)
 Introductory Lectures on the Finite Element Method (Springer 1973)
 Finite Elements and Approximations (gemeinsam mit K. Morgan; John Wiley & Sons 1983)
 Numerical Analysis of Forming Processes
 gemeinsam mit J. F. Pitman; John Wiley & Sons 1985)
- Herausgabe:** Stress Analysis (gemeinsam mit G. S. Holister; John Wiley & Sons 1965)
 Rock Mechanics in Engineering Practice (gemeinsam mit K. G. Staggs; John Wiley & Sons 1968)
 Optimum Structural Design: Theory and Applications (gemeinsam mit R. H. Gallagher; John Wiley & Sons 1973)
 Numerical Methods in Offshore Engineering (et al; John Wiley & Sons 1978)
 Soil Mechanics – Transient and Cyclic Loads: Constitutive Relations and Numerical Treatment (gemeinsam mit G. N. Oande; John Wiley & Sons 1982)
 International Journal for Numerical Methods in Engineering (seit 1969)
- Mitglied:**
 1979 Fellow of Royal Society, London
 Fellow of Engineering of Great Britain
 1981 Foreign Member of the United States National Academy of Engineering
 1985 Foreign Member of the Polish Academy of Science
- Ehrungen:**
 1972 Hon. D. in Research, National Civil Engineering Laboratories, Lissabon
 1975 Hon. D.Sc., National University of Ireland
 1980 James Alfred Ewing Medal, Institute of Civil Engineers
 Nathan Newmark Medal, American Society of Civil Engineers
 Worcester Warner Reid Medal, American Society of Mechanical Engineers
 1982 Hon. D.Sc., Freie Universität Brüssel

264

1984	Hon. D. Sc., Northwestern University, Illinois
1985	Hon. D. Sc., Universität Trondheim
1987	Hon. D. Sc., Chalmers Technische Hochschule, Göteborg
	LL. D., University of Dundee
	Carl-Friedrich-Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Schlußwort des Generalsekretärs

Sehr verehrte Anwesende!

Jede Medaille hat zwei Seiten, auch die Gauß-Medaille. Die Vorderseite trägt das Kopfbild von Carl Friedrich Gauß, und auf der Rückseite steht in der Mitte der Satz „pro summis litterarum meritis“. Der die Vorder- und Rückseite verbindende Rand der Medaille trägt den Namen unseres diesjährigen Medailleninhabers, Prof. Dr. Zienkiewicz. Auf der einen Medailleenseite also der Kopf, ein menschliches Profil, und auf der anderen Seite das außerordentliche wissenschaftliche Werk, das manchmal – wie wir heute wieder erfahren – technische Entwicklungen unmittelbar beeinflusst. Für Ihren eindrucksvollen Vortrag über „The Challenge of Computational Mechanics“ möchte ich Ihnen, sehr verehrter Herr Zienkiewicz, im Namen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft herzlich danken.

Es ist kein Zufall, wenn diese wissenschaftliche Gesellschaft einen Wissenschaftler ehrt, der sich auch der Technik verpflichtet fühlt. Mehr als die Hälfte der ordentlichen Mitglieder unserer Gesellschaft sind in Bereichen tätig, die den Ingenieur- bzw. Bauwissenschaften zugerechnet werden. In keiner anderen wissenschaftlichen Gesellschaft oder Akademie unseres Landes kommt die enge Verflechtung zwischen Wissenschaft und Technik auf so prägnante Weise zum Ausdruck. Schon von ihrer Konzeption her ist die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft darauf angelegt, die Begegnung von Forschern aus geisteswissenschaftlichen und naturwissenschaftlich-technischen Fächern zu ermöglichen. Die gemeinsame Arbeit in unserer Gesellschaft führt nicht nur zur Anerkennung der Leistung des anderen, auch wenn man sie selbst nicht in allen Einzelheiten versteht, sondern schärft darüberhinaus den Blick für neue Aufgaben, die sich aus den immer schneller verändernden Lebensumständen und Umweltbedingungen in unserer Zeit ergeben. Es ist sicher richtig, daß der eigentliche Antrieb des Wissenschaftlers sein inneres Streben nach Erkenntnis und schöpferischer Betätigung ist. Zum Wesen dieser Haltung gehört allerdings auch die Bereitschaft, Erkanntes nicht nur dann zu akzeptieren, wenn der eigene Standpunkt bestätigt wird. Mehr denn je müssen wir uns bewußt machen, daß wissenschaftliche Tätigkeit und technischer Fortschritt nur die eine Seite einer Medaille sein dürfen, deren andere Seite menschliche Züge tragen muß. Für die sich aus dieser Erkenntnis ergebenden fächerübergreifenden Forschungsaufgaben verfügt die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft über ein Potential wissenschaftlichen Sachverständes, das auch für politikbegleitende wissenschaftliche Beratungen genutzt werden könnte.

Anläßlich dieser Jahresversammlung sprachen am heutigen Vormittag Herr Professor Dr. Krätzig, Bochum, über „Der Beitrag computerorientierter Elementmethoden zur Steigerung der Tragwerkssicherheit bei Schalentragerwerken“, Herr Professor Dr. Rothert, Hannover, über „Möglichkeiten und Grenzen von Diskretisierungsverfahren

bei der Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Automobil-Reifen“ und Herr Professor Dr. Sündermann, Hamburg, über „Meeresforschung im Computer – neue Einsichten mit Hilfe mathematischer Modelle“. Für die Mühe, die Sie, verehrte Kollegen, zur Vorbereitung dieser Vorträge auf sich genommen haben und für die gelungenen Darstellungen, mit denen Sie zum wissenschaftlichen Teil unserer Jahresversammlung wesentlich beigetragen haben, danke ich Ihnen sehr.

Zu bedanken habe ich mich ferner bei all jenen, die wie in den vergangenen Jahren auch unsere heutige Jahresversammlung in diesem schönen, historischen Haus ermöglicht, gefördert und gestaltet haben. Mein Dank gilt deshalb den Vertretern der Stadt Braunschweig, dem Verein der Freunde der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, den Helfern vor Ort und last but not least dem „Kanzlerfelder Bläseroktett“, das nun unsere Feier musikalisch ausklingen läßt.

Nachrufe

Ernst Henze

* 17. 8. 1927 † 15. 2. 1986

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 13. Februar 1987

Von **Hans-Joachim Kanold**

Am 15. Februar 1986 verstarb im Klinikum Großhadern München Professor Dr. Ernst Henze, zuletzt Direktor des Instituts für Mathematische Stochastik der Technischen Universität Braunschweig, seit 1976 ordentliches Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Ernst Henze wurde am 17. August 1927 in Blankenburg (Harz) geboren. Er besuchte von 1934 bis zu seiner Einberufung zum Kriegsdienst im Jahre 1943 die dortige Volks- und Oberschule. In seinem Lebenslauf schreibt er lapidar: „Nach der Rückkehr aus der Kriegsgefangenschaft legte ich im Juli 1947 die Reifeprüfung an der Oberschule in Blankenburg ab“. Aus vielen Gesprächen mit ihm ging aber hervor, daß diese Jahre des Zusammenbruchs, der Gefangenschaft und des Wiederbeginns seinen Charakter entscheidend geprägt hatten. Von einer tiefen und innerlichen christlichen Frömmigkeit getragen, fand er die Kraft, mit großem Fleiß und einer erstaunlichen Arbeitsdisziplin vom Wintersemester 1947/48 an die Fächer Mathematik und Physik an der Universität Rostock zu studieren und bereits im Oktober 1951 das Diplomexamen mit einer Arbeit über die numerische Behandlung spezieller Integralgleichungen mit sehr gutem Erfolg zu bestehen. Von Dezember 1951 bis September 1952 war Henze Assistent und Lehrbeauftragter am Mathematischen Institut der Universität Rostock.

Im Herbst 1952 begann für ihn ein neuer Lebensabschnitt. Er verlegte seinen Wohnsitz in die Bundesrepublik Deutschland und trat eine Stellung als Mathematiker bei der Telefunken GmbH in Ulm (Donau) an. Am 19. Juli 1952 hatte er geheiratet. Seine glückliche Ehe, aus der drei Kinder hervorgingen, war eine weitere Quelle für seine große Schaffenskraft, die ihn in den folgenden Jahren zu beruflichen und wissenschaftlichen Erfolgen führen sollte. Im April 1954 wurde Henze in das neugegründete Forschungsinstitut der Telefunken GmbH in Ulm versetzt. Dort entstanden aus der praktischen Tätigkeit eine Reihe von Publikationen. Für die Arbeit „Bandfilter vom Tscheybyscheffschen Typ mit beliebig vielen Kreisen“, die im Archiv der Elektrischen Übertragung 1955 erschien, erhielt Henze den Preis der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE 1956. Zugleich stieg er in der Firma zu einer Führungskraft auf und baute die Forschungsabteilung für theoretische Fragen der Elektrotechnik als Leiter aus.

Daneben arbeitete er zielstrebig an seiner Dissertation mit dem Titel „Beiträge zum Irrfahrtproblem“, mit welcher er im November 1958 zum Dr. rer. nat. von der Fakultät

für Natur- und Geisteswissenschaften der Technischen Hochschule Stuttgart promoviert wurde.

Bereits 1959 erhielt er einen Lehrauftrag für Mathematik. Schon zwei Jahre später legte er seine Habilitationsschrift mit dem Titel „Räumlich homogene stationäre und instationäre Irrfahrten im Gitter“ vor und erhielt dafür die *venia legendi* für das Fach Mathematik an der Technischen Hochschule Stuttgart. Diese Arbeit erschien in zwei Teilen 1962 in den Mathematischen Annalen. Sie fand in der wissenschaftlichen Fachwelt Beachtung.

Für die mehr praktische Seite der Begabung Henzes zeugen 11 im In- und Ausland erteilte Patente. Aber seine Begabung und seine Interessen waren vielseitig. Die abstrakte, mehr theoretische Seite spiegelt sich in seinem Buch „Einführung in die Maßtheorie“ wider, ebenso wie seine Fähigkeit, komplizierte Sachverhalte didaktisch geschickt zu formulieren. Seine über 30 wissenschaftlichen Veröffentlichungen weisen ein breites Spektrum auf: Neben den schon erwähnten Arbeiten weitere zur Informationstheorie, zum Konvergenzverhalten von Lernprozessen, auch eine „Einführung in die Codierungstheorie“.

Zu erwähnen sind auch zwei Übersetzungen aus dem Englischen; es handelt sich um die bedeutenden Bücher:

Norbert Wiener „Kybernetik“, sowie um
D.R. Cox „Erneuerungstheorie“.

Im März 1965 erhielt Henze einen Ruf auf den Lehrstuhl für Angewandte Mathematik der Technischen Hochschule Braunschweig und seit dem 1. September 1965 war er auch ordentlicher Professor und Direktor des Institutes für Angewandte Mathematik. Dieses Institut diente in der Lehre der Ausbildung der Ingenieurstudierenden des Maschinenbaues, des Bauingenieurwesens und der Geodäsie in den Einführungsvorlesungen in Mathematik und Darstellender Geometrie. In der Forschung widmete es sich der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik, der Angewandten Mathematik und der Konstruktiven Geometrie. Als Leiter dieses Institutes brachte Henze seine große Erfahrung aus der Industrie und von anderen Universitäten ein. Eine große Zahl der ehemaligen Schüler und Mitarbeiter sind heute als Professoren an wissenschaftlichen Hochschulen tätig. Mehr als 20 Doktorarbeiten und eine Reihe von Habilitationsschriften und Abhandlungen in wissenschaftlichen Zeitschriften gingen in zwei Jahrzehnten aus diesem Institut hervor. Es herrschte in ihm neben einem guten wissenschaftlichen Geiste auch ein gutes menschliches Klima.

Die Persönlichkeit von Henze wäre nicht vollständig beschrieben, wenn der Hinweis auf seine, im guten Sinne, gesellschaftlichen, sozialen und politischen Verdienste fehlen würde. Zuerst hat er sich als Professor für die Interessen der Carolo Wilhelmina sowie für diejenigen seines Berufsstandes so eingesetzt, daß man um seine Gesundheit manchmal Angst haben mußte.

Von August 1966 bis Juli 1967 war er Leiter der Naturwissenschaftlich-Philosophischen Fakultät der Technischen Hochschule Braunschweig, danach Dekan dieser Fakultät. Nach deren Teilung war er Dekan der Naturwissenschaftlichen Fakultät der

Technischen Universität Braunschweig. Von August 1969 bis Juli 1971 war er Wahl-senator dieser Fakultät. Für die Amtszeit vom 1. August 1972 bis zum 31. Juli 1974 bekleidete er das Amt des Rektors. Seit März 1973 war er Vorsitzender der Niedersäch-sischen Landesrektorenkonferenz und seit Oktober 1973 Mitglied des Senates der Westdeutschen Rektorenkonferenz. Einen Ruf der Technischen Universität Berlin lehnte er 1970 ab.

Die vielen Jahre dieser Ehrenämter von Henze fielen bekanntlich in eine sehr schwierige Zeit an unseren Hochschulen. Mit der ihm eigenen festen Haltung, mit der Fähigkeit, sich auch als Mathematiker in komplizierte juristische Probleme einarbeiten zu können, hat er die Technische Universität Braunschweig durch viele schwerwie-gende Entscheidungen und Schwierigkeiten hindurchgeführt. Nie hat er sich geschont. Seine Kräfte hat er über alle Maßen für sein hohes Amt eingesetzt. Die Gesundheit ließ aber bald nach. Bis zuletzt hat er, leider, nicht genug darauf geachtet. Die Liebe zu seinem Vaterland, zu seiner engeren Heimat und seine Pflichtauffassung waren vorbild-lich und standen stets ganz vorn an bei ihm.

Auch für unsere Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft zeigte er großes Verständnis, er war ein aktives Mitglied in dem Jahrzehnt seiner Zugehörigkeit.

Wir wollen in dieser Stunde nicht trauern um ihn, sondern dankbar sein dafür, daß er zu uns gehörte.

Günter Wassermann

* 19.9.1902 † 30.9.1986

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 13. Februar 1987

Von **Peter Wincierz**

Unser langjähriges Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften, Prof. Dr. phil. habil. Dr.-Ing. e.h. Günter Wassermann ist am 30. September 1986 in Frankfurt a.M. gestorben. Mit ihm verliert unsere Gesellschaft, die Technische Universität Clausthal und die Metallkunde einen hervorragenden Forscher und von seinen Schülern hochverehrten und als väterlichen Freund geliebten Lehrer. Er gehörte zu der Pioniergeneration, die nach dem ersten Weltkrieg mit der damals neuen Methode der Röntgenkristallographie und der Untersuchung von Einkristallen wesentliche Grundlagen der modernen Metallkunde und Metallphysik erarbeitete.

Günter Wassermann wurde am 19. September 1902 in Berlin geboren. Er bestand dort an der Kirschner-Oberrealschule 1921 die Reifeprüfung und studierte anschließend an der Berliner Universität bis zum Frühjahr 1924 Chemie. Die Untersuchungen für seine Doktorarbeit über die Kristallstruktur und die Festigkeit von Tellureinkristallen führte er unter der Betreuung von E. Schmid und E. Schiebold in den Dahlemer Kaiser-Wilhelm Instituten für Faserstoffchemie sowie für Metallforschung aus. Mit Erich Schmid verband ihn bald eine lebenslange, tiefgegründete Freundschaft, die sich bis 1944 in einer Reihe gemeinsamer Arbeiten widerspiegelte. Diese entstanden 1926/28 im Metall-Laboratorium der Metallgesellschaft AG in Frankfurt, danach bis zur Schließung des KWI für Metallforschung 1933 in Berlin und später von 1937 bis 1944 wieder bei der Metallgesellschaft AG. Dazwischen von 1933–35 hatte Günter Wassermann im Kaiser-Wilhelm Institut für Eisenforschung in Düsseldorf und danach in der Magnetabteilung des Siemens-Zentrallabors in Berlin seine Forschungsarbeiten fortgeführt. 1944 erfolgte seine Berufung als Professor und Direktor des Instituts für Metallkunde an die Bergakademie Clausthal. Auch nach seiner 1972 erfolgten Emeritierung beteiligte er sich weiter an der Lehre und blieb bis zu seinem Tode forschend tätig.

In den Jahren des Neubeginns nach dem zweiten Weltkrieg diente Günter Wassermann seiner Hochschule als Rektor und führte mit Weitblick und hohem Verantwortungsbewußtsein gemeinsam mit nur wenigen Kollegen die Berufungsverfahren zur Wiederbesetzung verwaister Lehrstühle durch.

Zu den folgenden großen Gebieten der Metallkunde hat Günter Wassermann im Laufe von sechs Jahrzehnten wesentliche Beiträge geleistet:

- Kristallplastizität und -bruch
- Texturen

- Aushärtung
- Martensitumwandlung
- Pulvermetallurgische Verbundwerkstoffe.

Die Richtungsabhängigkeit der Zerreißfestigkeit von Tellur-, Wismut- und Antimon-einkristallen beschäftigte ihn ebenso wie die mechanische Zwillingsbildung bei Zink und anderen hexagonalen Metallen. Er erkannte die Bedeutung dieses Verformungsmechanismus für das Ermöglichen einer zweiten Basistranslation, und konnte hiermit die charakteristischen Unterschiede der Walz- und Ziehtexturen von hexagonalen Metallen mit unterschiedlichem c/a -Achsenverhältnis erklären. Mehr als drei Jahrzehnte später gelang ihm durch das Auffinden der mechanischen Zwillingsbildung bei Metallen mit niedriger Stapelfehlerenergie wie Silber – gemeinsam mit H. Ahlborn – die Aufklärung der unterschiedlichen Haupttypen der Walztextur (Kupfertyp sowie Messing- bzw. Silbertyp). Das Verständnis der texturbedingten mechanischen Anisotropie wurde von ihm und seinen Schülern durch die Bestimmung des Fließbeginns von Ein- und Vielkristallen bei variiertem zweiachsiger Beanspruchung verbessert.

Sein Buch „Texturen metallischer Werkstoffe“, in der zweiten, wesentlich erweiterten Auflage gemeinsam mit seiner langjährigen Mitarbeiterin, Frau Prof. Dr. Johanna Grewen verfaßt, ist noch heute das Standard-Nachschlagewerk auf diesem Gebiet.

Besonders erfolgreich war Günter Wassermann auf dem Gebiet der Aushärtung. Schon 1926 zeigte er mit Röntgenstrahlen die kristallographisch unterschiedliche Natur der Aushärtung bei Raumtemperatur im Vergleich mit den bei höheren Temperaturen ablaufenden Ausscheidungsvorgängen. Entgegen der allgemeinen Annahme der Fachwelt, daß sich bei der Warmaushrtung eines übersättigten Mischkristalls die mit diesem im thermodynamischen Gleichgewicht befindliche Phase ausscheidet, wies Wassermann 1935 gemeinsam mit J. Weerts erstmals das Auftreten einer instabilen Phase bei diesem Vorgang nach. Später wurden auch von Wassermann und seinen Schülern in den verschiedensten Legierungen eine Vielzahl solcher instabiler, in den Gleichgewichts-Zustandsdiagrammen nicht enthaltener Phasen gefunden. Zur Frage der Abfolge mehrerer instabiler Phasen, ihrer Bildung und ihres Wachstums, lieferten er und seine Schüler wichtige Beiträge. Auch auf dem Gebiet der Martensitumwandlung verdanken wir Günter Wassermann zwei wegweisende Ergebnisse: Den unabhängig und gleichzeitig mit Nishiyama gefundenen Orientierungszusammenhang zwischen Austenit und Martensit bei Eisen-Nickel-Legierungen sowie den von ihm entdeckten und als Umwandlungsplastizität bezeichneten geringen Formänderungswiderstand während der Martensitumwandlung. Die heute aktuellen Formgedächtnis-Legierungen gehen letztlich auf diese frühe Beobachtung zurück, die er später gemeinsam mit E. Hornbogen an Messing-Martensiten wesentlich vertiefte.

Durch seine Industrietätigkeit lernte Günter Wassermann im Krieg das Problem der Spannungsrikorrosionsanflligkeit von hochfesten Aluminium-Zink-Magnesium-Werkstoffen kennen und fand noch heute weltweit angewandte Wärmebehandlungsverfahren zur Vermeidung dieser Schadensursache. Da seine Erfindungen im Kriege geheimgehalten und später ihr Wert in der Kriegsbeute nicht erkannt worden war, mußten andere sie noch einmal machen, ehe man auf den Namen Wassermann stieß.

Ähnlich ging es ihm mit seinen Arbeiten zur Pulvermetallurgie des Aluminiums, für die er das Strangpressen als Verdichtungsverfahren erfolgreich verwendete, weil dieses das Aufreißen der die Pulverteilchen umgebenden Oxidhäute und das Verschweißen der frischen Oberflächen bewirkte. Hieran knüpfte er seit den sechziger Jahren mit seinem Alterswerk an. Es war der Entwicklung neuer Verbundwerkstoffe gewidmet, wofür er noch einmal eine Schar junger Menschen zum Mitforschen begeisterte. Durch Mischen verschiedenartiger Pulver von Metallen und Nichtmetallen und Strangpressen dieser Mischungen entstanden entweder durch Verschweißen oder durch die Ausbildung von Adhäsionsbindungen neue Werkstoffe, die nach weiterer hochgradiger Umformung durch Walzen oder Ziehen extrem feine versetzungsfreie Fasern und hierdurch hervorgerufene beachtenswerte physikalische Anomalien aufwiesen.

Das Lebenswerk von Günter Wassermann hat seinen Niederschlag in etwa 200 Veröffentlichungen, davon 5 von ihm verfaßten bzw. mitverfaßten und -herausgegebenen Büchern sowie in einer Reihe von Patenten gefunden. Die Impulse seiner Arbeit gingen sowohl in die Richtung der Grundlagen der Metallkunde als auch in Richtung ihrer industriellen Anwendung. Mit beiden Bereichen ist er über die Jahrzehnte durch seine Arbeit und den engen Kontakt zu seinen Freunden und früheren Kollegen sowie zu seinen Schülern verbunden gewesen. In Würdigung seiner Verdienste sind ihm bedeutende Ehrungen zuteil geworden, wie die Heyn-Denkmünze und die Ehrenmitgliedschaft der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde, die Ehrendoktorwürde der RWTH Aachen und die Ehrenmitgliedschaft des Japanischen Institute of Metals.

An der Arbeit unserer Gesellschaft, zu deren ältesten Mitgliedern Günter Wassermann gehörte, hat er sich aktiv beteiligt und an unseren Veranstaltungen regen Anteil genommen. Wir werden ihm ein ehrendes Andenken bewahren.

Helmuth Hausen

* 16.11.1895 † 27.1.1987

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 8. Mai 1987

Von **Heinz Rögner**

Am 27. Januar dieses Jahres verstarb Herr Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Helmuth Hausen im Alter von 91 Jahren.

Helmuth Hausen wurde am 16. November 1895 in Zweibrücken geboren, besuchte in Kempten im Allgäu das humanistische Gymnasium, legte dort die Reifeprüfung ab und ergriff anschließend das Studium der Technischen Physik an der Technischen Hochschule München, das er 1920 mit dem Diplom-Examen abschloß.

Geheimrat Oskar Knoblauch nahm den jungen Diplom-Ingenieur als Doktoranden in sein Institut für Technische Physik auf. Dort lagen umfangreiche, in langjähriger experimenteller Arbeit gewonnene Datenreihen thermodynamischer Größen des Wasserdampfes vor, und Hausens erste Aufgabe bestand darin, eine empirische Gleichung der spezifischen Wärmekapazität des Wasserdampfes aufzustellen. Die von ihm entwickelte Gleichung bildete die Grundlage der 1923 gemeinsam von O. Knoblauch, E. Raisch und H. Hausen herausgebrachten „Tabellen und Diagramme für Wasserdampf, berechnet aus der spezifischen Wärme“, die – ebenso wie die etwa gleichzeitig von Richard Mollier herausgegebenen Tabellen und Diagramme – rasch zum unentbehrlichen Hilfsmittel in der Dampfkrafttechnik wurden. In der Fachwelt machte sich bald das Verlangen nach einer international anerkannten Dampftafel bemerkbar, und im Jahr 1921 erging an die in der Wasserdampfforschung führenden Wissenschaftler eine Einladung zu der Ersten Internationalen Dampftafelkonferenz. Zu den Eingeladenen gehörte auch Helmuth Hausen. Er hat in der Folgezeit bis in seine späten Lebensjahre fast regelmäßig an den Dampftafelkonferenzen teilgenommen, eigene Beiträge zur Wasserdampfforschung vorgelegt und Mitarbeiter zu solchen angeregt. 1981 wurde ihm die Würde eines „Honorary Fellow of the International Association for the Properties of steam“ verliehen.

Doch das zentrale Thema seiner Lebensarbeit lautete nicht „Wasserdampfeigenschaften“, sondern „Luftverflüssigung und Luftzerlegung“. 1895 – also gerade im Geburtsjahr von Helmuth Hausen – war Carl von Linde die Verflüssigung der Luft unter Ausnutzung des Thomson-Joule-Effektes und des Siemensschen Gegenstromprinzips gelungen. Aber selbst 25 Jahre später lagen noch keine befriedigend genauen Werte des Thomson-Joule-Koeffizienten bei tiefen Temperaturen vor. Auf von Lindes Vorschlag beauftragte Knoblauch seinen Doktoranden Hausen mit experimentellen und theoretischen Untersuchungen über diesen Koeffizienten. 1925 legte Hausen seine Dissertation mit dem Titel „Der Thomson-Joule-Effekt und die Zustandsgrößen der

Luft bei Drücken bis zu 20 at und Temperaturen zwischen $+10^{\circ}\text{C}$ und -175°C vor. Die als VDI-Forschungsheft veröffentlichte Arbeit lieferte nicht nur die gewünschten Daten des Thomson-Joule-Koeffizienten, sondern zugleich ein Musterbeispiel dafür, wie aus einem Mindestmaß auszuführender Messungen sämtliche thermodynamischen Eigenschaften eines Systems – hier eines Fluids – erschlossen werden können. Die Dissertation fand sogleich große Beachtung und gehört seit langem zu den Pionier-Veröffentlichungen der Technischen Thermodynamik.

Bereits vor seiner Promotion war Hausen in die Dienste der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen, der späteren Linde AG, in Höllriegelskreuth bei München getreten und leitete dort dann fast 28 Jahre lang die Berechnungsabteilung innerhalb der Abteilung Gasverflüssigung und Trennung von Gasgemischen bei sehr tiefen Temperaturen. Hier stellte er, vielfach fußend auf den Ergebnissen seiner eigenen experimentellen Untersuchungen, grundlegende Diagramme zur exakten Berechnung von Gasverflüssigungsprozessen auf und leistete entscheidende Beiträge zur Theorie der Gemischzerlegung, die sich als außerordentlich bedeutungsvoll für die Praxis erwiesen.

Die Verwendung von Sauerstoff im großen Maßstab in der chemischen Industrie, der Hüttenindustrie und bei der Kohlevergasung begann erst mit der Einführung des Linde-Fränk-Verfahrens zur Luftzerlegung, das dadurch gekennzeichnet ist, daß als Wärmetauscher nicht mehr stationär durchströmte Rekuperatoren, sondern periodisch auf Wärmeaufnahme und -abgabe umgeschaltete Regeneratoren verwandt werden. Die Entwicklung dieses von Fränk vorgeschlagenen Verfahrens wurde jedoch erst aufgegriffen, nachdem Hausen mit Hilfe der von ihm selbst aufgestellten Regeneratortheorie geklärt hatte, unter welchen Bedingungen der erforderliche hohe Wirkungsgrad der Wärmetauscher erreicht wird und in welchem Maße die in den Regeneratoren teilweise kondensierenden Bestandteile der Luft, Wasserdampf und Kohlendioxid, durch Stickstoff und Sauerstoff wieder ausgetragen werden.

Aus Hausens Feder erschienen zahlreiche Veröffentlichungen zu Detailfragen der Verflüssigung und Zerlegung von Gasen und zwei zusammenfassende Darstellungen, nämlich der auch heute noch oft zu Rate gezogene Beitrag zu dem von Eucken und Wolf herausgegebenen Werk „Der Chemie-Ingenieur“ mit dem Titel „Materialtrennung durch Destillation und Rektifikation“ und die Monographie „Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom“, die rasch internationale Anerkennung als ein Standardwerk der Wärmeübertragung fand.

Mit einer Arbeit über die Regeneratortheorie habilitierte sich Hausen an der Technischen Hochschule München, hielt dort in der Folgezeit neben seiner Tätigkeit bei der Linde AG zunächst als Privatdozent, später als nichtbeamteter außerordentlicher Professor Vorlesungen aus dem Gebiet der Technischen Thermodynamik und wurde 1950 auf das Ordinariat für Thermodynamik und Dampfkesselwesen der Technischen Hochschule Hannover berufen und zum Direktor des gleichnamigen Instituts ernannt, das später in Institut für Thermodynamik und Verfahrenstechnik und schließlich in Institut für Thermodynamik umbenannt wurde.

In Hannover liest Hausen über technische, chemische und statistische Thermodynamik, über Thermodynamik der Gemische und über Wärmeübertragung. Sein

wissenschaftliches Interesse gilt weiterhin den Themen aus seiner Münchener Zeit, daneben aber auch neuen Gebieten wie z. B. der Gewinnung von Süßwasser aus Meerwasser, der Heizkostenermittlung nach dem Verdunstungsprinzip und anderen Problemen der Heizungstechnik.

Insbesondere aber schreibt Prof. Hausen in diesen Jahren den Band 8 des Handbuches der Kältetechnik „Erzeugung sehr tiefer Temperaturen, Gasverflüssigung und Zerlegung von Gasgemischen“, der große Beachtung findet und später als erster von allen Handbuchbänden vergriffen ist.

Erst drei Jahre nach seiner Emeritierung, 1967, übergibt Hausen Lehrverpflichtung und Institutsleitung an seinen Nachfolger, widmet sich aber sogleich einer neuen Aufgabe, der Herausgabe der Wärmetechnischen Teilbände des „Landolt-Börnstein“. Die vorgesehenen fünf Bände erscheinen zwischen 1967 und 1980.

Parallel hierzu läuft aber auch eine umfassende Neubearbeitung des Buches „Wärmeübertragung“, das in zweiter Auflage 1976 erscheint; und noch vor Abschluß der Arbeiten am Landolt-Börnstein nimmt Prof. Hausen gemeinsam mit Prof. Linde, Enkel von Carl von Linde, die Neubearbeitung seines Buches „Erzeugung sehr tiefer Temperaturen“ in Angriff, und wenige Tage vor seinem 90. Geburtstag erscheint die neue Auflage unter dem Titel „Tieftemperaturtechnik“.

Helmuth Hausen sind zahlreiche Ehrungen zuteil geworden. Verliehen wurde ihm neben der schon erwähnten Würde eines Honorary Fellow:

- 1954 der Literaturpreis des Deutschen Kältetechnischen Vereins
- 1960 die VDI-Ehrenmünze in Gold
- 1964 die Goldmedaille des Institut Francais des Combustibles et de l'Energie
- 1966 die Ehrendoktor-Würde der Technischen Hochschule München
- 1968 die Linde-Denkmünze des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins
- 1971 das Große Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland
- 1985 der Ehrenteller und die Ehrenmitgliedschaft des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins.

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft wählte ihn 1953 zum ordentlichen Mitglied.

Ein der Wissenschaft und der Technik geweihtes Leben ist zu Ende gegangen. Die Fachwelt wird Helmuth Hausen als einen ihrer Großen in ehrender Erinnerung behalten.

Eduard Justi

* 30. 5. 1904 † 16. 12. 1986

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 9. Oktober 1987

Von **Franz Rudolf Keßler**

Am 16. 12. 1986 verstarb Professor Dr. phil. Eduard Justi in Braunschweig. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft verneigt sich in Trauer und Ehrerbietung vor dem Toten, verliert sie doch in ihm einen ihrer prominentesten und aktivsten Wissenschaftler. Sie verdankt ihm in den 40 Jahren seiner Zugehörigkeit als ordentliches Mitglied eine Fülle selbstloser Einsätze, Anregungen und förderlicher Beiträge für die Gemeinschaft. Sie ist dem Verstorbenen zu Dank verpflichtet und wird ihm allzeit ein ehrendes Andenken bewahren.

Glücklicherweise hat Eduard Justi erleben können, wie sehr ihm die Fachwelt, seine Freunde und nicht zuletzt auch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft Anerkennung für seine Lebensleistung gezollt haben. So war denn der 80. Geburtstag am 30. Mai 1984 ein Tag, ihn in geistiger Frische vor einem großen Auditorium zu erleben und ihm selbst zu sagen, wie sehr wir ihn verehren.

Heute dagegen bleibt uns nur die Erinnerung und ein ehrender Nachruf in Trauer.

Eduard Justi war nicht nur ein Wissenschaftler der Physik mit überragenden Fähigkeiten und eigenständigen Leistungen, sondern auch ein Wissenschaftspromotor, der durch seine klugen und weitschauenden Anregungen anderen die Gelegenheit gab, sich zu entfalten und neue Gefilde in der Physik zu erschließen. So wurde sein Rat sehr geschätzt und ihm die Mitgliedschaft in zahlreichen Kuratorien und Kommissionen angetragen. Stellvertretend seien diesbezüglich das Kuratorium der Physikalisch Technischen Bundesanstalt und das der Stiftung Volkswagenwerk genannt. Und aus seinem Wirkungskreis, insbesondere aus seinem Braunschweiger Institut, sind zahlreiche junge Wissenschaftler in die höchsten Ränge in Forschung und Lehre aufgestiegen.

Bevor sich die Würdigung den eigentlichen, man könnte sagen hauptamtlichen Bereichen zuwendet, sei erwähnt, daß sich Eduard Justi in seinem Leben stets auch den Schönen Künsten verbunden fühlte und sich hierin einen Garten Eden geschaffen hat, der ihm Kraft und Freude in den nicht immer ungetrübten Jahren seines kämpferischen beruflichen Einsatzes gab. In diesem Garten Eden war er verbunden mit seiner Gattin und vielen Freunden, die das Vertrauen spüren konnten, ihm persönlich nahe zu sein. Poesie, Musik, Malerei und insbesondere die Kunst Chinas halfen ihm, eine bewundernswerte Universalität des Geistes zu entwickeln, die es ihm erlaubte, auch in schweren und tragischen Situationen die Haltung eines unerschütterlichen Humanisten zu bewahren. In dieser Bindung an die Bildende Kunst setzte er die große Tradition seiner Vorfahren fort.

Als Physiker, Wissenschaftler und Hochschullehrer entschied sich Eduard Justi nach den Wirren des Zweiten Weltkrieges für Braunschweig als den Standort seines Wirkens, als er 1946 dem Ruf an die damalige Technische Hochschule folgte. Als ordentlicher Professor und Direktor des Instituts für Technische Physik gestaltete er den Wiederaufbau mit. 1954/55 war er dann auch Rektor und entsprechend ergänzend Prorektor dieser Universität. 1962 entschied sich Eduard Justi nochmals für Braunschweig, als er den an ihn ergangenen Ruf an die Universität Pennsylvania ablehnte.

So war es ihm vergönnt, 40 Jahre lang in Braunschweig als akademischer Lehrer erfolgreich tätig zu sein, „sein Institut“ auszubauen und ihm einen international beachteten Rang zu geben. Viele hunderte Studenten haben ihn in seinen begeisternden Vorlesungen erlebt, viele tausende haben in der ganzen Welt seine in mehrere Sprachen übersetzten Monographien durchgearbeitet. Als frühes und damit bahnbrechendes Lehrbuch der Festkörperphysik ist diesbezüglich insbesondere das bereits 1948, also im Jahr der Erfindung des Transistors, unter dem Titel „Leitfähigkeit und Leistungsmechanismus fester Stoffe“ erschienene Werk zu nennen. Diejenigen aber, die das Glück hatten, in seinem Institut selbst wissenschaftlich arbeiten zu können, haben unmittelbar von der Kraft seines Geistes und seinem Ideenreichtum profitiert.

Eduard Justi wurde 1972 emeritiert, seine wissenschaftliche Aktivität nahm davon jedoch keine Notiz.

Das Schwergewicht der Arbeiten von Eduard Justi lag stets auf aktuellen und zukunftssträchtigen Gebieten der Physik bzw. Technischen Physik. Stellvertretend seien Bereiche wie Supraleitung, Hochmagnetfeldphysik, Thermoelektrizität, Katalyse, elektrische Leistung aus „kalter Verbrennung“, sowie Solarenergienutzung in Verbindung mit Wasserstofftechnologie genannt. Gerade der zuletzt genannte Aspekt hat ihn bis ins hohe Alter beschäftigt. So erschien noch 1984 die zweite, von ihm selbst aktualisierte Auflage seines Buches mit dem Titel: „Wasserstoff – Energie für alle Zeiten“. Mit seinen dort niedergelegten prinzipiellen Überlegungen und Rechnungen hat er wohl die letzten Zweifler davon überzeugt, daß in einem solchen, die Staatengrenzen überbrückenden Energieversorgungssystem der Schlüssel zu der Zukunftsbewältigung liegt.

Die Liste der Originalpublikationen und Patente von Eduard Justi zu all diesen innovativen Themen umfaßt mehrere hundert Titel. Gerade der immer gesuchte und gefundene Praxisbezug der Arbeiten von Eduard Justi kennzeichnet dabei seine Denkweise und ist vielleicht auch Ausdruck seiner ersten beruflichen Orientierung an der Physikalisch Technischen Reichsanstalt in Berlin.

Das wissenschaftliche Wirken von Eduard Justi fand im Laufe der Jahre viele ehrenvolle Anerkennungen z. B. durch die Berufungen in die Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz, deren Präsident er überdies in den Jahren 1954 bis 1958 war, in die Kgl. Schwedische Ingenieurwissenschaftsakademie und in die Kgl. Akademie in Göteborg. Eduard Justi war auch Mitglied der Cooperation Méditerranéenne pour l'Utilisation de l'Energie Solaire (COMPLES) und ihres Rates. Ferner wurde er zum Leiter des Schwerpunktes „Energieumwandlung“ der DFG berufen. Schließlich erhielt er aufgrund seiner wissenschaftlichen Arbeiten das Kommandeurskreuz des Kgl. Schwedischen Nordstern-Ordens.

In die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (BWG) wurde Eduard Justi 1946 berufen. Wie an jeder Stelle, so hat er auch hier seine Berufung als Verpflichtung verstanden. Wir haben ihm jetzt zu danken für seine Beiträge zur Entwicklung und Selbstfindung unserer Wissenschaftlichen Gesellschaft. Von 1949 bis 1951 war er Generalsekretär unserer Gesellschaft. Die ihm angetragene Präsidentschaft in den Jahren 1952 und 1953 führte er gleichermaßen mit glücklicher Hand und Erfolg. 1949 begründete er die „Abhandlungen der BWG“ als eigenständiges Publikationsorgan für das wissenschaftliche Wirken unserer Mitglieder. 1953 gelang es ihm, der BWG die Zuerkennung des Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechtes durch das Land Niedersachsen zu erwirken. Dies und die von Eduard Justi mitarbeitete und dann 1953 in Kraft getretene neue Satzung ergaben für unsere Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft eine faktische Gleichsetzung mit den Wissenschaftlichen Akademien und leitete die wachsende, auch internationale Anerkennung der BWG ein. Hier muß ferner erwähnt werden, daß wir auch die Stiftung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille seiner Anregung verdanken.

Die Lebensleistung eines Menschen würdigen, heißt auch, wenigstens einen kurzen Blick zu werfen auf den Lebensweg, der die Stationen aufzeigt, wie sie das Schicksal vorzeichnet, der aber auch erkennen läßt, wie diese Vorgaben gemeistert und gestaltet wurden.

Eduard Wilhelm Leonhard Justi wurde am 30. 5. 1904 als Sohn des späteren Professors der Medizin Dr. med. Karl Justi und dessen Ehefrau Maria geb. Külz in Honkong/China geboren. Noch vor dem 1. Weltkrieg nach Deutschland zurückgekehrt, besuchte Eduard Justi das humanistische Gymnasium in Halle/Saale und in Marburg. Nach dem Studium der Physik, Mathematik, Chemie, Mineralogie und Geologie an den Universitäten Marburg, Kiel und Berlin wurde er 1929 in Marburg zum Dr. phil. promoviert. Berühmte Physiker wie Einstein, Planck, Schrödinger, Nernst und von Laue waren seine akademischen Lehrer, Grüneisen sein „Doktorvater“. Die Habilitation für das Lehrgebiet Physik erfolgte schließlich 1935 in Berlin, wo er nach der Promotion von 1929 bis 1943 an der Physikalisch Technischen Reichsanstalt tätig war, zuletzt als Leiter des Kältelaboratoriums.

In Berlin 1942 zum außerplanmäßigen Professor ernannt, wurde er 1943 an die Reichsuniversität Posen auf den Lehrstuhl für Angewandte Physik berufen. Zugleich erhielt er einen Ruf an die damalige Technische Hochschule Braunschweig, „an dessen Annahme ich 1943 verhindert wurde“, wie er selbst in seinem Lebenslauf schreibt. 1946 konnte er dann dem Ruf nach Braunschweig folgen.

Nur wer die näheren Umstände kennt, oder doch sich vorstellen kann, wie ein Leben mit zwei Weltkriegen und zwei Nachweltkriegszeiten verlaufen sein mag, kann auch die Persönlichkeit Eduard Justis gerecht würdigen. Umsicht und Ausdauer, Einsatzbereitschaft und kluge Entscheidungen, Geist und Fleiß, Freundlichkeit und Würde, nur solche Qualitäten können zusammen mit der Begabung solche Erfolge zeitigen.

Wir, die nunmehr haben Abschied nehmen müssen von Eduard Justi, neigen uns in Anerkennung und Dankbarkeit vor einem der unsrigen, dem wir das erfolgreiche und

erfüllte Leben nicht neiden wollen, den wir vielmehr als Vorbild einschätzen und den wir nachstreben wollen.

*Consilium suum exigemus –
Requiescat in pace.*

Gerhard Lehmann

* 25.10.1907 † 27.6.1986

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 13. November 1987

Von **Gottfried Konecny**

Am 27. Juni vergangenen Jahres verstarb Prof. Dr. Gerhard Lehmann im Alter von 78 Jahren in Hannover. Er wurde am 3. Juli 1986 von seinen Angehörigen, Freunden, Kollegen und Schülern auf dem Engesohder Friedhof zu Grabe begleitet. Gerhard Lehmann ist langjähriges ordentliches Mitglied der Klasse für Bauwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gewesen, eine Mitgliedschaft, auf die er stets stolz gewesen ist.

Gerhard Lehmann wurde am 25. Oktober 1907 in Stettin in Pommern geboren. Seine mathematische Begabung und sein Interesse an der praktischen Anwendung der Mathematik führten ihn im Alter von 19 Jahren nach Berlin, zum Studium der Geodäsie und Kulturtechnik an der Landwirtschaftlichen und Technischen Hochschule. Er absolvierte dort von 1926 bis 1929 das damals sechssemestrige Spezialstudium unter seinen Lehrern Brennecke und Eggert, die ihn mit der Vermessungskunde und mit der Geodäsie vertraut machten. Das Examen als Landmesserkandidat legte er in Berlin mit „sehr gut“ ab. Er konnte deshalb seine damals erforderliche zweijährige Praxis von 1929 bis 1931 als Hilfsassistent an der Technischen Hochschule ablegen. Dies verstärkte in ihm das wissenschaftliche Interesse. 1930 kam er mit Professor Lacmann in Verbindung, der in Berlin den ersten Lehrstuhl für Photogrammetrie erhielt. Im Rahmen seiner Praxis kam er 1930 bis 1931 auch an die Technische Hochschule Hannover, wo Prof. Gast am Geodätischen Institut die Photogrammetrie lehrte. Gast hatte damals gerade ein beachtenswertes Lehrbuch über „Photogrammetrie“ publiziert, und an seiner Hochschule wurde in Preußen im Vermessungswesen erstmals der akademische Titel Diplomingenieur vergeben.

Durch seine bei Gast verfaßte Diplomarbeit „Untersuchungen am Universal-Photodolot von Hegershoff-Heyde“ und durch seine in Hannover mit Auszeichnung abgelegte Diplomprüfung wurde Gerhard Lehmann der erste Diplomingenieur der Fachrichtung Vermessungswesen in Preußen.

Sehr bald danach verfaßte Lehmann noch im Jahre 1931 seine erste wissenschaftliche Veröffentlichung in der Zeitschrift „Bildmessung und Luftbildwesen“ mit dem Titel „Zur Bestimmung der inneren Orientierung von photographischen Aufnahmen“.

1931 trat er in den höheren Verwaltungsdienst der preußischen Katasterverwaltung und widmete sich damit zunächst der geodätischen Praxis. 1933 schloß er seine zweite Staatsprüfung ab.

1934 gelang es ihm, seine wissenschaftliche Tätigkeit wieder aufzunehmen. Er wurde Assistent am Institut für Vermessungskunde an der Technischen Hochschule in Berlin.

1936 schrieb er seine zweite Veröffentlichung „Über einige neue Präzisionsuhren“, publizierte in der Zeitschrift für Vermessungswesen. Bald darauf, auch im Jahre 1936, promovierte er mit dem Prädikat „mit Auszeichnung“ zum Dr.-Ing. über die gruppenweise Ausgleichung von Dreiecksnetzen nach bedingten Beobachtungen. Seine Arbeit aus dem Gebiet der Ausgleichungsrechnung wurde in ihren Grundzügen in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1937 auf 47 Textseiten abgedruckt.

Noch im Jahre 1936 erhielt er eine Anstellung beim Geodätischen Institut in Potsdam, das seit Friedrich Robert Hehnert in den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts Weltgeltung unter den geodätischen Forschungsinstitutionen besaß. Sein Aufgabengebiet wurde die deutsche geophysikalische Reichsaufnahme. Im Rahmen der gravimetrischen Methoden befaßte er sich mit der Durchführung der seinerzeit gebräuchlichen Pendelmessungen zur Erfassung der Schwere und mit der Untersuchung von Chronometern, die in der geodätischen Astronomie benötigt wurden.

Zielstrebig arbeitete er daneben auf eine Habilitationsarbeit hin, mit welcher er sich 1939 an der Technischen Hochschule Berlin habilitierte. Es handelt sich um eine Arbeit über die „Lagrangesche Projektion“, welche in der Zeitschrift für Vermessungswesen 1939 auf 37 Seiten abgedruckt ist.

Damit hatte sich Lehmann auf geradezu allen Gebieten des Vermessungswesen, sozusagen als einer der wenigen „Universalgeodäten“ qualifiziert.

Kein Wunder also, daß er schon 1941, im Alter von 34 Jahren, zwei Rufe an deutsche Hochschulen erhielt. Zunächst war dies ein Ruf zum ordentlichen Professor an die Technische Hochschule Aachen, und gleichzeitig ein Ruf als außerordentlicher Professor an die Technische Hochschule Berlin, den er annahm, weil ihm Berlin wissenschaftlich bessere Möglichkeiten versprach.

Im gleichen Jahre publizierte er über Probleme der Triangulation in der Zeitschrift für Vermessungswesen.

1942 wurde er allerdings zum Wehrdienst eingezogen.

1945 aus der englischen Kriegsgefangenschaft entlassen, kam er als Regierungs- und Vermessungsrat zur seinerzeitigen Hauptabteilung VII des früheren Reichsamts für Landesaufnahme wiederum nach Hannover. An der wiederaufgebauten Technischen Hochschule Hannover, die ja eine Fachrichtung Vermessungswesen besaß, an welcher seit den dreißiger Jahren Prof. Walter Großmann in der Geodäsie und Prof. Richard Finsterwalder in der Photogrammetrie tätig waren, erhielt er im Jahre 1947 einen Lehrauftrag.

1948 wurde das neugegründete Niedersächsische Ministerium des Inneren sein Arbeitgeber.

Als Prof. Finsterwalder einen Ruf nach München erhielt und ihn annahm, wurde Gerhard Lehmann am 1. November 1949 auf den neugegründeten Lehrstuhl für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen berufen.

Nun begann sich Gerhard Lehmann wissenschaftlich in sehr vielfältiger Weise zu entfalten. In den 22 Jahren bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1971 verfaßte er 22 Publikationen auf verschiedenen Gebieten der Photogrammetrie, die seine Interessen widerspiegeln, darunter seinen vielbeachteten Göschensband „Photogrammetrie“,

welcher in 3 Auflagen erschien. Lehmann verstand es darin meisterhaft, die vielseitigen Entwicklungen der Photogrammetrie prägnant und doch leicht verständlich darzustellen. Er erwähnte gelegentlich, daß er bei der Abfassung des Textes mit Worten gerungen habe.

In der Zeit nach dem 2. Weltkrieg, als die neugegründete Bundesrepublik Deutschland die Lufthoheit noch nicht wiedererlangt hatte, bestand insbesondere ein Bedarf an großmaßstäbigen Karten zum Wiederaufbau der zerstörten Städte und zur Neuordnung des ländlichen Raumes.

Lehmann erkannte den hervorragenden Beitrag, den die Photogrammetrie zur Beschaffung der Planungsunterlagen für beide Ziele leisten konnte, ganz klar, und so begann er 1951 über die Möglichkeiten der photogrammetrischen Katastervermessung und 1952 über die Anwendung der Photogrammetrie im Vermessungswesen und speziell der großmaßstäbigen Kartenherstellung zu publizieren.

Die zu erprobenden Auswerteverfahren wurden allesamt am Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen entwickelt, zur Praxisreife gebracht und an Behörden und die Privatindustrie zum Einsatz weitergegeben.

Dazu gelang es ihm, das Instrumentarium des Instituts durch leistungsfähige Entzerrungsgeräte und durch neue Anwertegeräte, wie den Zeiss Stereoplanigraphen C8 und die Wild Autographen A8 und B8 zu erweitern.

Damit entwickelte er das Verfahren für die photogrammetrische Aufnahme und Nachführung der Stadtkarte Hannover, wie es seit den fünfziger Jahren beim Stadtvermessungsamt praktiziert wird. Am Institut wurde ferner die Photogrammetrie zur Erstellung der Deutschen Grundkarte 1:5000 erprobt, ein Verfahren, das heute überall in der Bundesrepublik Bedeutung hat.

In der Niedersächsischen Flurbereinigungsverwaltung werden noch bis zum heutigen Tage die von Lehmann entwickelten photogrammetrischen Verfahren zur Aufnahme des neugestalteten Wegenetzes als Voraussetzung für die Flurstücksabsteckung eingesetzt, wenn dies auch nicht mehr in dem Ausmaß geschieht, wie dies noch in den siebziger Jahren üblich war.

Getreu seiner Vielseitigkeit regte Lehmann auch viele Arbeiten in den Sonderanwendungen der Photogrammetrie an. Hervorzuheben ist die auf ihn zurückzuführende Tätigkeit seines engsten Mitarbeiters Prof. Werner Wunderlich, der an der Technischen Universität Braunschweig von 1973 bis 1975 als Professor für Photogrammetrie aktiv gewesen ist. Unter ihm wurden terrestrisch-photogrammetrische Vermessungen von vielen Kulturdenkmälern in Niedersachsen vorgenommen, und es wurden archäologische Grabungspläne photogrammetrisch erstellt.

International wirkte Lehmann vor allem in der Organisation Europeenne des Etudes de la Photogrammétrie Experimentale (OEEPE) mit. Entsprechend seinen Interessen war er in den fünfziger Jahren Kommissionspräsident für die großmaßstäbige Photogrammetrie.

Auch neuartigen Technologien gegenüber war Gerhard Lehmann stets aufgeschlossen.

Schon 1960 befaßte er sich mit der Analytischen Photogrammetrie, die sich mit den Möglichkeiten des Computereinsatzes in der Photogrammetrie auseinandersetzte. Damals wurde ein Stereokomparator angeschafft, bald darauf erfolgte der Kauf eines institutseigenen Rechners LGP 30 von Royal Mc Bee, an welchem die ersten analytischen Anwertungen für Kataster und Flurbereinigung in Hannover und an der Spitze stehend auch in der Bundesrepublik gerechnet wurden. Dies war die Basis, auf welcher bedeutende Dissertationen seiner zahlreichen Mitarbeiter im Laufe der Jahre entstehen konnten.

Zu seinen bedeutendsten Schülern zählen neben Werner Wunderlich, der leider zu früh verstorben ist,

Prof. Günther Hake, ordentliches Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, der auf dem Wege über die von Lehmann propagierte Entzerrung und die Bildkarte sich in der Kartographie einen Namen gemacht hat;

Dr. Martin Ahrend und Prof. Hans Karsten Meier, die lange Jahre die photogrammetrische Entwicklung bei Carl Zeiss vorangetrieben haben;

Dr. Jürgen Müller und Dr. Hans Bauer, welche beginnend aus den analytischen Arbeiten an der LGP 30 die europäische Praxis der Bündelblockausgleichung begründet haben.

Am Institut hat insbesondere die Einführung der zusätzlichen Parameter in die Ausgleichung stattgefunden, welche der analytischen Photogrammetrie einen Sprung nach vorn, in der Erreichung einer doppelten Genauigkeit gegeben hat.

Einmalig ist auch, daß unter Lehmann durch von Berckefeld erstmals eine Arbeit über die Ausmessung von Hologrammen erfolgte.

Lehmann hat unter seinen vielen Schülern und Freunden, die hier nicht alle genannt werden können, stets große Hochachtung und Verehrung erfahren. Dies ist auf seine durch seine tiefe religiöse Einstellung begründete Wesensart zurückzuführen. Er hat sich stets um äußerste Korrektheit und Gerechtigkeit bemüht, und er hat diese hohen Maßstäbe zuerst bei sich selbst angesetzt.

Bei jeder Vorlesung, die er abhielt, bemühte er sich, perfekt zu sein. Als ihm seinerzeit das ehrenvolle Amt des Rektors angetragen wurde, lehnte er in Bescheidenheit ab, aber auch in der Einstellung, das Amt nicht in perfekter Weise ausführen zu können.

Er blieb trotz seiner beachtlichen Erfolge meist stets bescheiden im Hintergrund und wirkte gütig für seine Schüler und Mitarbeiter.

In den letzten 15 Jahren seines Lebens mußte er viel Leid auf sich nehmen, das er still und geduldig getragen hat: die lange Krankheit und das Dahinscheiden seiner Frau, darauf die Verschlechterung seiner seelischen und körperlichen Verfassung bis hin zu seiner Erblindung in den letzten 3 Jahren seines Lebens.

Er hat diese Leiden mit großer Würde ertragen. Er war seinen Schülern und seinen jüngeren Kollegen bis zuletzt ein väterlicher Freund, der unvergessen bleiben wird.

Veröffentlichungen

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

„Jahrbuch 1986 der BWG“

„Abhandlungen der BWG“, Bd. XXXVIII (1986)

Geschäftliche Mitteilungen

Das Plenum trat am 11.12.1987 zu seiner jährlichen Hauptsitzung zusammen. Es erteilte dem Verwaltungsausschuß für das Geschäftsjahr 1986 Entlastung und beschloß den Haushaltsentwurf für 1989. Ebenfalls am 11.12.1987 fand eine Wahlsitzung des Plenums statt, in der zwei korrespondierende Mitglieder (siehe Personalien) gewählt wurden.

Die Klasse für Ingenieurwissenschaften wählte am 12.12.1987 Prof. Dr.-Ing. Rudolf Jeschar für die Amtsperiode vom 1.1.1988 bis zum 31.12.1991 erneut zu ihrem Vorsitzenden. Der Vorsitzende der Klasse für Geisteswissenschaften, Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch, trat am 31.12.1987 aus gesundheitlichen Gründen von seinem Amt zurück. Für die restliche Amtszeit vom 1.1.1988 bis zum 31.12.1989 wählte die Klasse für Geisteswissenschaften am 12.12.1987 Prof. Dr. phil. Heribert Boeder zu ihrem Vorsitzenden.

Am 10.9.1987 fand eine Sitzung des Verwaltungsausschusses statt. Das am 11.12.1987 tagende Konzil beschloß, Herrn Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Brauer, Berlin, die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille des Jahres 1988 anzutragen. Der Genannte hat die Ehrung angenommen. Die Auszeichnung wird ihm im Rahmen der Feierlichen Jahresversammlung am 24.6.1988 überreicht werden.

Die Geschäftsstelle der BWG wurde entsprechend dem Beschluß des Verwaltungsausschusses vom 17.10.1986 neu organisiert. Nach dem Ausscheiden von Frau Ilsabe Schulte-Lüer am 31.12.1986 wurde Frau Gabriele Köppelmann-Müller am 1.1.1987 als Schreibkraft angestellt. Ebenfalls am 1.1.1987 übernahm Frau Hannelore Haubold die Büroleitung.

Satzung und Geschäftsordnungen

Die Satzung und die Geschäftsordnungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft sowie die Druckschriftenordnung sind im Jahrbuch 1986, Seite 257 ff., veröffentlicht.

Personalia

Todesfälle

27. 1. 1987 Helmuth Hausen (geb. 16. 11. 1895)
 Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., ordentliches, später korrespondierendes
 Mitglied der BWG seit 1953
27. 2. 1987 Heinrich Rohdenburg (geb. 27. 1. 1937)
 Prof. Dr. rer. nat., ordentliches Mitglied der BWG seit 1983
15. 3. 1987 Arnold Beuermann (geb. 13. 1. 1924)
 Prof. Dr. phil., ordentliches Mitglied der BWG seit 1969
15. 7. 1987 Paul Koeßler (geb. 19. 6. 1896)
 Prof. Dr.-Ing., ordentliches Mitglied der BWG seit 1944
11. 9. 1987 Walter Lochte-Holtgreven (geb. 15. 10. 1903)
 Prof. Dr. phil. habil., korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1965
31. 12. 1987 Henry Görtler (geb. 26. 10. 1909)
 Prof. Dr. phil. habil., Dr. h. c., korrespondierendes Mitglied der BWG
 seit 1975

Zuwahlen

Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden am 11. 12. 1987 gewählt

in die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

Haken, Hermann, Dr. rer. nat., Dr. h. c. mult., Professor für Theoretische Physik an der Universität Stuttgart, Sandgrubenstraße 1, 7032 Sindelfingen

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Rambaldi, Enrico, Dr. phil., Professor für Philosophie an der Universität Mailand, Via Monte Bianco 36, I-20149 Milano

Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h. c., Dr.-Ing. E. h., Honorarprofessor der Universität Mainz und Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil. h. c., Dr.-Ing. h. c., Dr. Techn. h. c., em. o. Professor für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg/Schweden.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Theoretische Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller*, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., Evan-Pugh Res. Professor an der Pennsylvania State University, University Park, Penn./USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing. E. h., Professor in Münster.
- 1954 *Max Strutt*, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich/Schweiz.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr. phil., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N. Y./USA.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann*, Dr. sc. nat. habil., Dr. rer. nat. e. h., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Kármán* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., mult., LL. D., Professor am California Institute of Technology, Pasadena, Calif./USA.
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1962 *Walter Schottky* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., Dr. techn. E. h., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe*, Dr. phil., Dr. h. c., Dr. rer. nat. h. c. mult., em. o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.

- 1964 *Carl Wagner* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Dr.-Ing. E. h., Professor und vormalig Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.
- 1965 *Albert Betz* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. sc. techn. h. c., Professor und vormalig Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker*, Dr. phil., Dr. h. c., em. o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel/Schweiz.
- 1967 *Henry Görtler* †, Dr. phil. habil., LL. D. h. c., em. o. Professor der Mathematik und vormalig Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br.
- 1968 *Egon Orowan*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass./USA.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer*, tekn. dr., Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm/Schweden.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr. rer. nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik an dem Polytechnischen Institut Bukarest und vormalig Direktor des Institut de Mécanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger*, Dr. rer. techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen und vormalig Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüschi* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und vormalig Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann*, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. rer. nat. h. c., Dr. Sc. h. c., o. Professor für Anorganische Chemie an der Technischen Universität Wien/Österreich.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dr. h. c., Professor, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i. R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill*, FRS, FRAeS, Hon. D. Sc. mult., Professor für Mathematik an der University of Cambridge/Großbritannien.
- 1977 *Walter Maurice Elsasser*, Dr. phil., o. Professor für Geophysik an der Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland/USA.
- 1977 *Helmuth Moritz*, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Geodäsie an der Technischen Universität Graz/Österreich.
- 1977 *László Fejes Tóth*, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest/Ungarn.
- 1978 *Ulrich Grigull*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Thermodynamik an der Technischen Universität München.

- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt*, Dr. phil., em. o. Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen.
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c., Professor und vormals Direktor am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen.
- 1981 *Martin Kneser*, Dr. rer. nat., o. Professor für Mathematik an der Universität Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr. phil., o. Professor für Klassische Philologie an der Universität Zürich/Schweiz.
- 1983 *Leopold Müller*, Dr. techn., Dr. mont. h.c., Honorarprofessor an der Universität Salzburg (Felsmechanik), Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking*, Dr. rer. nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik der Technischen Universität Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr. rer. nat., Professor und Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin.
- 1986 *Arno Borst*, Dr. phil., o. Professor für Geschichte des Mittelalters an der Universität Konstanz.
- 1987 *Olgierd Cecil Zienkiewicz*, FRS, Ph. D., D. Sc., Hon. D. Sc. mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales, Swansea/Großbritannien.

Mitgliederverzeichnis

(Stand 31.12.1987)

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 3300 Braunschweig

Telefon: (0531) 391-4596

Präsident: Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Oberbeck
(bis 31.12.1989)

Generalsekretär: Prof. Dr. rer. nat. Egon Richter
(bis 31.12.1988)

Geschäftsstelle: Frau Hannelore Haubold (Büroleiterin)
Frau Gabriele Köppelmann-Müller

Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Otto K. Rosenbach (bis 31.12.1988)

Ordentliche Mitglieder:

Becker, Gerhard (21.12.1916), Dr. rer. nat., Dr.-Ing. h.c., Ltd. Dir. u. Prof. i.R.
(Physik, PTB Braunschweig), Dießelhorststraße 32, 3300 Braunschweig

Bogen, Hans Joachim (19.11.1912), Dr. rer. nat., Prof. em. (Botanik, TU Braunschweig), Wendentorwall 15b, 3300 Braunschweig

Brehler, Bruno (25.12.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Mineralogie und Kristallographie, TU Clausthal), Am Turmhof 6, 3392 Clausthal-Zellerfeld

Cramer, Friedrich (20.9.1923), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Organische Chemie, MPI für Experimentelle Medizin, Göttingen), Jacob-Henle-Straße 18, 3400 Göttingen

Dieminger, Walter (7.7.1907), Dr. rer. techn., apl. Prof. u. Dir. i.R. (Aeronomie, MPI für Aeronomie, Lindau), Berliner Straße 14, 3412 Nörten-Hardenberg 1

Grützmaker, Martin (10.11.1901), Dr. phil. habil., Honorarprof. u. Ltd. Dir. a.D.
(Akustik, PTB Braunschweig), Sulzbacher Straße 36, 3300 Braunschweig

Gundermann, Karl-Dietrich (20.2.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Organische Chemie, TU Clausthal), Birckenbachstraße 2, 3392 Clausthal-Zellerfeld

Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr. rer. nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 3300 Braunschweig

Haul, Robert (31.5.1912), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Physikalische Chemie, Universität Hannover), Schellingstraße 5, 3000 Hannover 61

Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie, Universität Göttingen), Nelkenstraße 10, 3410 Northeim-Hillerse

- Hopf, Henning (13.12.1940), Dr. phil., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig),
Dürerstraße 8, 3300 Braunschweig
- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr. rer. nat. habil., Prof. em. (Mathematik, TU
Braunschweig), Gildenstraße 41, 3300 Braunschweig
- Kersten, Martin (28.4.1906), Dr.-Ing., Honorarprof. u. Präs. i. R. (Physik, PTB
Braunschweig), Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig
- Kertz, Walter (29.2.1924), Dr. rer. nat., Prof. (Geophysik und Meteorologie, TU
Braunschweig), Pestalozzistraße 2, 3300 Braunschweig
- Keßler, Franz Rudolf (11.8.1927), Dr. phil., Prof. Hon., Prof. (Physik, TU Braun-
schweig, Am Walde 42, 3300 Braunschweig
- Kowalsky, Hans-Joachim (16.7.1921), Dr. rer. nat., Prof. em. (Mathematik, TU Braun-
schweig), Am Schiefen Berg 20, 3340 Wolfenbüttel
- Kroepelin, Hans (28.12.1901), Dr. phil., Prof. em. (Chemische Technologie, TU Braun-
schweig), Hermann-Riegel-Straße 12, 3300 Braunschweig
- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr. rer. nat., Prof. (Biophysikalische Chemie, Medizinische
Hochschule Hannover), Im Eichholz 27, 3000 Hannover 51
- Müller, Georg (1.10.1930), Dr. rer. nat., Prof. (Mineralogie und Petrographie, TU
Clausthal), Einersberger Blick 27, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Müller, Hans Robert (26.10.1911), Dr. phil., Prof. em. (Mathematik, TU Braun-
schweig), Am Schiefen Berg 49, 3340 Wolfenbüttel
- Pilger, Andreas (19.12.1910), Dr. phil. habil., Prof. em. (Geologie und Paläontologie,
TU Clausthal), Berliner Straße 125, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Poser, Hans (13.3.1907), Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c., Prof. em. (Geographie, Univer-
sität Göttingen), Ernst-Curtius-Weg 5, 3400 Göttingen
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Braun-
schweig), Sommerlust 33, 3300 Braunschweig
- Röhrs, Manfred (22.9.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie, Tierärztliche Hochschule
Hannover), Im Dorffeld 43, 3005 Hemmingen
- Rosenbach, Otto K. (25.9.1914), Dr.-Ing., Prof. em. (Geophysik, TU Clausthal),
Hopfengarten 40, 3388 Bad Harzburg 1
- Schottlaender, Stefan (15.1.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Clausthal),
Glückauf-Weg 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Schumann, Hilmar (8.11.1902), Dr. phil. habil., Prof. em. (Mineralogie, TU Braun-
schweig), Eitelbrodstraße 3a, 3300 Braunschweig
- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, TU Braunschweig), Spitz-
wegstraße 21, 3300 Braunschweig
- Stahl, Wolfgang (17.8.1935), Dr. rer. nat., Dir. u. Prof. (Isotopengeochemie und -geo-
physik, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), Hermann-Löns-
Weg 14, 3006 Burgwedel 4
- Steudel, Andreas (17.2.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover),
Hahnensteg 41C, 3000 Hannover 91
- Tietz, Horst (11.3.1921), Dr. phil., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Röd-
ding Straße 31, 3008 Garbsen

- Vollmar, Roland (1.11.1939), Dr.-Ing., Prof. (Informatik, TU Braunschweig), Adolfstraße 14, 3300 Braunschweig
- Wannagat, Ulrich (31.5.1923), Dr. rer. nat., Dr. techn. h.c., Prof. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Antoinettenweg 9, 3340 Wolfenbüttel
- Weinert, Hanns Joachim (26.1.1927), Dr. phil., Dr. rer. nat. habil., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückauf-Weg 6, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Nogatweg 13, 3004 Isernhagen
- Willerding, Ulrich (8.7.1932), Dr. rer. nat., apl. Prof. (Botanik, Universität Göttingen), Calsowstraße 60, 3400 Göttingen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr. rer. nat., Prof. (Organische Chemie, Universität Hannover), Sieversdamm 34, 3004 Isernhagen 2
- Zinner, Gerwalt (30.9.1924), Dr. phil., Prof. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Am Papenholz 14, 3300 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Bartels, Heinz, Dr. med., Prof. em. (Vegetative Physiologie, Medizinische Hochschule Hannover), Am Rehberg 7, 7763 Öhningen-Wangen
- Becker, Wilhelm, Dr. phil., Dr. h.c., Prof. em. (Astronomie, Universität Basel), Im Spiegelfeld 12, CH-4102 Binningen ü. Basel/Schweiz
- Elsasser, Walter M., Dr. phil., Prof. (Physik), Department of Earth and Planetary Sciences, Johns Hopkins University Baltimore, Maryland 21218/USA
- Engelhardt, Wolf, Freiherr von, Dr. phil., Prof. em. (Mineralogie und Petrographie), Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Tübingen, Wilhelmstraße 56, 7400 Tübingen 1
- Ertl, Gerhard, Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Physikalische Chemie, Fritz-Haber-Institut, Max-Planck-Gesellschaft), Garystraße 18, 1000 Berlin 33
- Gutmann, Viktor, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. rer. nat. h.c., Dr. Sc. h.c., Prof. (Chemie), Institut für Anorganische Chemie, TH Wien, Getreidemarkt 9, A-1060 Wien/Österreich
- Haken, Hermann, Dr. rer. nat., Dr. h.c. mult., Prof. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Sandgrubenstraße 1, 7032 Sindelfingen
- Hengge, Edwin Franz Kurt, Dr. techn., Prof. (Anorganische Chemie, TU Graz), Ziegelstraße 9z, A-8045 Graz/Österreich
- Inhoffen, Hans Herloff, Dr. phil., Dr. med. h.c., Prof. em. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Lorettosteig 34a, 7750 Konstanz
- Kaluza, Theodor, Dr. rer. nat., Prof. em. (Mathematik, Universität Hannover), Nötelweg 4, 3000 Hannover 91
- Kippenhahn, Rudolf, Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Astrophysik, Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik), Föhringer Ring 6, 8000 München
- Kneser, Martin, Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, Universität Göttingen), Guldenhagen 5, 3400 Göttingen

- Köthe, Gottfried, Dr. phil., Dr. h.c., Dr. rer. nat. h.c. mult., Prof. em. (Mathematik, Universität Frankfurt), Parkstraße 14, 6000 Frankfurt/Main 1
- Kreutzkamp, Norbert, Dr. phil., Prof. (Pharmazeutische Chemie), Institut für Pharmazeutische Chemie, Universität Hamburg, Laufgraben 28, 2000 Hamburg 13
- Kuhn, Hans, Dr. phil., Prof. u. Dir. i. R. (Biophysikalische Chemie, MPI für biophysikalische Chemie), Ringoldswilstraße 50, CH-3656 Tschingel ob Gunten/Schweiz
- Mensching, Horst, Dr. rer. nat., Prof. em. (Geographie, Universität Hamburg), Heinz-Hilpert-Straße 10, 3400 Göttingen
- Schaller, Friedrich, Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie), Zoologisches Institut, Universität Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1A, A-1010 Wien/Österreich
- Schmitz, Rudolf, Dr. phil., Prof. (Geschichte und Pharmazie, Universität Marburg), Fhr.-vom-Stein-Straße 2, 6349 Mittenaar-Bicken
- Tóth, László Fejes, Dr., Prof. (Mathematik), Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences Reáltanoda U. 13–15, Budapest V/Ungarn
- Unsöld, Albrecht, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c. mult., Dr. Sc. h.c., Prof. em. (Theoretische Physik und Astronomie, Universität Kiel), Sternwartenweg 17, 2300 Kiel 1
- Voronkov, Michael Gregor, Dr. rer. nat., Dr. h.c., Prof. u. Dir. (Chemie), Siberian Division of the Academy of Sciences of the USSR, Institute of Organic Chemistry, 1 Favorsky Street, 664033 Irkutsk/UdSSR

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Rudolf Jeschar (bis 31.12.1991)

Ordentliche Mitglieder:

- Baehr, Hans Dieter (24.6.1928), Dr.-Ing., Dr. E.h., Prof. (Thermodynamik, Universität Hannover), Max-Eyth-Straße 54, 3000 Hannover 1
- Bammert, Karl (13.2.1908), Dr.-Ing., Prof. em. (Strömungsmechanik, Universität Hannover), Alleestraße 3, 3000 Hannover 1
- Batel, Wilhelm (3.11.1922), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Verfahrenstechnik, FAL Braunschweig), Peter-Joseph-Krahe-Straße 8, 3300 Braunschweig
- Blenk, Hermann (9.12.1901), Dr. phil., Prof. em. (Flugmechanik, TU Braunschweig), Margaretenhöhe 32, 3300 Braunschweig
- Bohnet, Matthias (20.7.1933), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 3300 Braunschweig
- Bretthauer, Karlheinz (5.3.1922), Dr.-Ing., Prof. (Elektrotechnik, TU Clausthal), Berliner Straße 45, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Dizioğlu, Bekir (13.12.1920), Dr.-Ing., Prof. (Getriebelehre und Maschinendynamik, TU Braunschweig), Marienburgweg 36, 3340 Wolfenbüttel
- Erdmann-Jesnitzer, Friedrich (3.5.1912), Dr.-Ing. habil., Dr. ir. h.c., Prof. em. (Werkstoffkunde, Universität Hannover), Im Dorffeld 66, 3005 Hemmingen 1
- Funke, Paul (5.2.1930), Dr.-Ing., Prof. (Werkstoffumformung, TU Clausthal), Schulstraße 15, 3392 Clausthal-Zellerfeld

- Groth, Klaus (8.12.1923), Dr.-Ing., Prof. (Kolbenmaschinen, Universität Hannover), Holzwassen 4, 3005 Hemmingen-Westerfeld
- Hennicke, Hans Walter (22.1.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Keramik und Email, TU Clausthal), Am Turmhof 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Jeschar, Rudolf (17.6.1930), Dr.-Ing., Prof. (Energianlagentechnik, TU Clausthal), Roseneck 1, 3380 Goslar
- Kind, Dieter (5.10.1929), Dr.-Ing., Honorarprof. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig) u. Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Knappstraße 4, 3300 Braunschweig
- Lautz, Günter (15.11.1923), Dr. rer. nat., Prof. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 3340 Wolfenbüttel
- Leilich, Hans-Otto (28.11.1925), Dr.-Ing., Prof. (Datenverarbeitungsanlagen, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 61a, 3340 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25.5.1926), Dr.-Ing., Prof. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 32, 3340 Wolfenbüttel
- Leschonski, Kurt (17.12.1930), Dr.-Ing., Prof. (Mechanische Verfahrenstechnik, TU Clausthal), Am Dammgraben 20, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Mahrenholtz, Oskar (17.5.1931), Dr.-Ing., Prof. (Mechanik, TU Hamburg-Harburg), Eißendorfer Winkel 9, 2100 Hamburg 90
- Marx, Claus (21.8.1931), Dr.-Ing., Prof. (Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung, TU Clausthal), Am Kleikamp 15, 3014 Laatzen 5
- Matthies, Hans Jürgen (6.11.1921), Dr.-Ing., Prof. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 3300 Braunschweig
- Mitschke, Manfred (5.5.1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Alter Rautheimer Weg 38, 3300 Braunschweig
- Musmann, Hans Georg (14.8.1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 3320 Salzgitter-Bad
- Pahlitzsch, Gotthold (19.4.1903), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Werkzeugmaschinen u. Fertigungstechnik, TU Braunschweig), Hermann-Riegel-Straße 15, 3300 Braunschweig
- Pestel, Eduard (29.5.1914), Dr.-Ing., D. Eng. h. c., Prof. em. (Mechanik, Universität Hannover), Alte Herrenhäuser Straße 10, 3000 Hannover
- Rögner, Heinz (20.9.1913), Dr. phil., Prof. em. (Thermodynamik, Universität Hannover), Asselweg 10B, 3008 Garbsen
- Ruge, Jürgen (14.5.1921), Dr.-Ing., Prof. (Schweißtechnik und Werkstofftechnologie, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 18, 3300 Braunschweig
- Rummel, Theodor (30.5.1910), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Elektrowärme, Universität Hannover), Leerbichl-Allee 20, 8022 Grünwald
- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Liegnitzer Straße 22, 3340 Wolfenbüttel
- Schwerdtfeger, Klaus (16.9.1934), Dr.-Ing., Prof. (Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal), Zeppelinstraße 28, 3380 Goslar

- Thoma, Manfred (24. 2. 1929), Dr.-Ing., Prof. (Regelungstechnik, Universität Hannover), Westermannweg 7, 3000 Hannover 21
- Tönshoff, Hans Kurt (14. 5. 1934), Dr.-Ing., Prof. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover), Bruchholziesen 10, 3006 Burgwedel 1
- Unger, Hans-Georg (14. 9. 1926), Dr.-Ing., Dr. h. c., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 3300 Braunschweig
- Weh, Herbert (1. 3. 1928), Dr.-Ing., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 20, 3300 Braunschweig
- von Zabeltitz, Christian (7. 8. 1932), Dr.-Ing., Prof. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Hellwiesen 3, 3002 Wedemark 9 (Meitze)

Korrespondierende Mitglieder:

- Beneking, Heinz, Dr. rer. nat., Prof. (Halbleitertechnik, TH Aachen), Templergraben 55, 5100 Aachen
- Bosnjaković, Fran, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Dr. h. c., Prof. em. (Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt, Universität Stuttgart), Umgelterweg 17D, 7000 Stuttgart 1
- Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Thermo- und Fluidodynamik, Universität Bochum), Hofleite 15, 4630 Bochum
- Grigull, Ulrich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Prof. em. (Thermodynamik, TU München), Heinrich-Vogl-Straße 1, 8000 München 71
- Illies, Kurt, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Prof. em. (Schiffsmaschinen und Dampfkessel, Universität Hannover), Babendiekstraße 20, 2000 Hamburg 55
- Kröner, Ekkehart, Dr. rer. nat., Prof. em. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Bardiliweg 6, 7000 Stuttgart 1
- Krüger, Gerhard, Dr.-Ing., Prof. em. (Wirtschaftswissenschaften, Universität Karlsruhe), Gorch-Fock-Straße 4/309, 2000 Wedel (Holst.)
- Mayinger, Franz, Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU München), Am Haselnußstrauch 18, 8000 München 45
- Schlitt, Herbert, Dr. phil. nat., Prof. (Regelungstechnik), Institut für Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, Egerlandstraße 5, 8520 Erlangen
- Strutt, M. J. O., Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., Prof. (Höhere Elektrotechnik, ETH Zürich), Krähbühlstraße 79, CH-8044 Zürich/Schweiz
- Truckenbrodt, Erich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Prof. em. (Strömungsmechanik, TU München), Joseph-Wirth-Straße 12, 8022 Grünwald
- Wincierz, Peter, Dr.-Ing., Honorarprof. (Metallkunde, TU Clausthal), Hohenwaldstraße 29, 6374 Steinbach/Taunus

Klasse für Bauwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Justus Herrenberger (bis 31.12.1990)

Ordentliche Mitglieder:

- Billib, Herbert (21.10.1904), Dr.-Ing., Dr. nat. techn. h.c., Prof. em. (Wasserwirtschaft, Hydrologie, Landwirtschaftlicher Wasserbau, Universität Hannover), Franzbaderhof 9, 3000 Hannover 71
- Buchwald, Konrad (16.2.1914), Dr. phil. nat. habil., Prof. em. (Landespflege, Universität Hannover), Große Heide 33, 3000 Hannover 51
- Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Prof. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 3300 Braunschweig
- Esslinger, Maria (4.3.1913), Dr.-Ing., apl. Prof. (Statik, DFVLR Braunschweig), Busardweg 2, 3300 Braunschweig
- Gerke, Karl (10.8.1904), Dr.-Ing., Prof. em. (Geodäsie, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 19, 3300 Braunschweig
- Hake, Günter (27.5.1922), Dr.-Ing., Dr. phil. h.c., Prof. (Topographie und Kartographie, Universität Hannover), Börie 58, 3005 Hemmingen 1
- Henn, Walter (20.12.1912), Dr.-Ing., Dr. techn. h.c., Prof. em. (Baukonstruktionen und Industriebau, TU Braunschweig), Petritorwall 20, 3300 Braunschweig
- Herrenberger, Justus (27.5.1920), Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktion, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 3300 Braunschweig
- Hoeltje, Georg (16.3.1906), Dr. phil., Prof. em. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover), Alte Herrenhäuser Straße 11c, 3000 Hannover 21
- Höpcke, Walter (19.8.1908), Dr.-Ing., Prof. em. (Allgemeine Vermessungskunde, Universität Hannover), Gerdingstraße 2A, 3000 Hannover 72
- Konecny, Gottfried (17.6.1930), Dr.-Ing., Prof. (Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover), Wartheweg 22, 3000 Hannover 73
- Kordina, Karl (7.8.1919), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Stahlbeton- und Massivbau, TU Braunschweig), Im Heidekamp 13, 3300 Braunschweig
- Mecke, Wilhelm (12.8.1907), Dr.-Ing., Prof. em. (Straßenwesen und Erdbau, TU Braunschweig), Pascheburggring 8, 3410 Northeim 1
- Möller, Dietrich (18.2.1927), Dr.-Ing., Prof. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Steinkamp 6, 3306 Lehre 1
- Natke, Hans Günther (9.5.1933), Dr. rer. nat., Prof. (Schall- und Meßtechnik, Universität Hannover), Pyrmonter Straße 51, 3000 Hannover 91
- Partenscky, Hans-Werner (3.4.1926), Dr.-Ing., Dr. phys., Prof. (Verkehrswasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover), Wichbergstraße 20, 3000 Hannover 81
- Pflüger, Alf (17.7.1912), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Statik, Universität Hannover), Bonatzweg 7, 3000 Hannover 71
- Pierick, Klaus (19.2.1928), Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 3300 Braunschweig

- Renard, Walter (12. 5. 1904), Dipl.-Ing., Prof. em. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Bevenser Weg 10, 3000 Hannover 61
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4. 5. 1932), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 3300 Braunschweig
- Rothert, Heinrich (5. 12. 1938), Dr.-Ing., Prof. (Statik, Universität Hannover), Feldbrunnenstraße 15, 2000 Hamburg 13
- Scheer, Joachim (5. 3. 1927), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 3000 Hannover 71
- Spengelin, Friedrich (29. 3. 1925), Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Universität Hannover), Habichtshorststraße 12, 3000 Hannover
- Stein, Erwin (5. 7. 1931), Dr.-Ing., Prof. (Baumechanik, Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 3004 Isernhagen 2 (NB)
- Stracke, Ferdinand (27. 5. 1935), Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Wohnungswesen und Landschaftsplanung, TU Braunschweig), Wendentorwall 10, 3300 Braunschweig
- Weimann, Günter (6. 6. 1921), Dr.-Ing., Prof. em. (Photogrammetrie und Kartographie, TU Braunschweig), Knupfental 40, 7920 Heidenheim 5
- Wierig, Hans-Joachim (22. 6. 1927), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffkunde, Universität Hannover), Hindenburgallee 31, 3007 Gehrden
- Wortmann, Wilhelm (15. 3. 1897), Dipl.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Stadt- und Regionalplanung, Universität Hannover), Morgensternweg 10, 3000 Hannover 21

Korrespondierende Mitglieder:

- Bjerhammer, Arne, tekn. dr., Prof. (Geodäsie), Institutionen för Geodesi, Kungl. Tekniska Högskolan, S-10044, Stockholm 70 / Schweden
- Garbrecht, Günther, Dr.-Ing., Dr. sc. h.c., Prof. (Wasserbau, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TU Braunschweig), Drosselweg 15, 3301 Lagesbüttel
- Habekost, Heinrich, Dipl.-Ing., Prof. em. (Städtebau, Straßenbau, Tiefbau, TU Braunschweig), Drusenbergstraße 95, 4630 Bochum
- Hofmann, Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktion und Entwerfen, Universität Hannover), Mayr-Graz-Weg 22, 8110 Murnau
- Kistenmacher, Hans, Dr. rer. pol., Prof. (Regional- und Landesplanung, Universität Kaiserslautern), Friedrich-Ebert-Straße 1, 6719 Neuleiningen
- Kracke, Rolf, Dr.-Ing., Prof. (Verkehrs- und Eisenbahnwesen, Universität Hannover), Buchenweg 4, 3003 Ronnenberg 3, OT Benthe
- Kraemer, Friedrich-Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Architektur, TU Braunschweig), Am Römerturm 3, 5000 Köln 1
- Moritz, Helmut, Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Erdmessung und physikalische Geodäsie, TU Graz), Maria-Troster-Straße 114, A-8043 Graz/Österreich
- Müller, Leopold, Dr. techn., Dr. mont. h.c., Honorarprof. (Felsmechanik, Universität Salzburg), Paracelsusstraße 2, A-5020 Salzburg/Österreich
- Pieper, Klaus, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Statik, TU Braunschweig), Ginsterweg 13, 3300 Braunschweig

- Torge, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Universität Hannover),
Mönchekamp 4A, 3000 Hannover 91
- Triebel, Wolfgang, Dr.-Ing., Honorarprof. (Bauforschung, Universität Hannover),
Max-Eyth-Straße 48, 3000 Hannover
- Wolf, Helmut, Dr.-Ing., Dr. sc. techn. h.c., Dr. phil. h.c., Dr. h.c., Prof. em. (Geodäsie, Universität Bonn), Am Sonnenhang 10, 5300 Bonn-Ippendorf
- Zerna, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. em. (Konstruktiver Ingenieurbau, Universität Bochum), Am Wittenstein, 4320 Hettingen

Klasse für Geisteswissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch (bis 31.12.1987)

Prof. Dr. phil. Heribert Boeder (vom 1.1.1988 bis 31.12.1989)

Ordentliche Mitglieder:

- Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr. phil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig),
Theaterwall 18, 3300 Braunschweig
- Ehlers, Joachim (31.5.1936), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig), Sprottaustraße 1, 3300 Braunschweig
- Ganz, Peter (3.11.1920), Dr. phil., Prof. (Germanistik, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Neuer Weg 17, 3340 Wolfenbüttel
- Gosebruch, Martin (20.6.1919), Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte, TU Braunschweig), Gieselerwall 4, 3300 Braunschweig
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr. phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Platanenstraße 27, 3340 Wolfenbüttel
- Kamp, Norbert (24.8.1927), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig), Leipziger Straße 236B, 3300 Braunschweig
- Killy, Walther (26.8.1917), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaften, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Calsowstraße 17, 3400 Göttingen
- König, Joseph (24.9.1915), Dr. phil., Archivdirektor a.D. (Geschichte), Paracelsusstraße 24, 3340 Wolfenbüttel
- Lohse, Eduard (19.2.1924), Dr. theol. D., Honorarprof. u. Landesbischof (Ev.-luth. Landeskirche Hannover), Haarstraße 6, 3000 Hannover 1
- Maurach, Gregor (3.3.1932), Dr. phil., Prof. (Lateinische Philologie, TU Braunschweig), Geysostraße 7, 3300 Braunschweig
- Mohr, Hans-Heinrich (1.6.1917), Dr. rer. pol. (Versicherungswissenschaften), Am Bürgerpark 4a, 3300 Braunschweig
- Müller, Gerhard (10.5.1929), Dr. theol., D.D., Honorarprof. u. Landesbischof (Ev.-luth. Landeskirche Braunschweig), Salzdahlumer Straße 43, 3340 Wolfenbüttel
- Oberbeck, Gerhard (5.10.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie und Wirtschaftsgeographie, Universität Hamburg), Ginsterweg 4, 2087 Ellerbek
- Oexle, Otto Gerhard (28.8.1939), Dr. phil., Prof. u. Dir. (Geschichte, MPI für Geschichte, Göttingen), Wiesenstraße 13, 3000 Hannover 1

- Olsen, Karl Heinrich (20.12.1908), Dr. rer. techn. habil., apl. Prof. entpfl., Ltd. Dir. i. R. (Agrarpolitik, Landwirtschaftliche Betriebslehre, Wirtschaftsgeographie), Saarstraße 3, 3300 Braunschweig
- Pöls, Werner (15.3.1926), Dr. phil., Prof. (Geschichte, TU Braunschweig), Herzogin-Elisabeth-Straße 6, 3300 Braunschweig
- Reuther, Hans (21.11.1920), Dr.-Ing., Dr. phil., Prof. em. (Architekturgeschichte, TU Berlin), Am Schäferhof 22, 3510 Hann. Münden 1
- Rosen, Edgar R. (18.6.1911), Dr. phil., Prof. em. (Politikwissenschaft, TU Braunschweig), Jasperallee 7, 3300 Braunschweig
- Schillemeit, Jost (18.2.1931), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaft, TU Braunschweig), Friedensallee 48, 3300 Braunschweig
- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr. jur., Prof. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Am Karpfenteich 58, 2000 Hamburg 63
- Thies, Harmen (26.12.1941), Dipl.-Ing., Dr. phil., Prof. (Baugeschichte, TU Braunschweig), Adolfstraße 55, 3300 Braunschweig
- Wilhelm, Herbert (8.6.1922), Dr. oec., Prof. (Volkswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Hirschbergstraße 16, 3300 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Beumann, Helmut, Dr. phil. habil., Prof. em. (Mittelalterliche Geschichte, Universität Marburg), Am Glaskopf 7, 3550 Marburg/Lahn
- Borst, Arno, Dr. phil., Prof. (Geschichte des Mittelalters, Universität Konstanz), Längerbohlstraße 42, 7750 Konstanz
- Burkert, Walter, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Zürich), Wildsbergstraße 8, CH-8610 Uster/Zürich (Schweiz)
- Dörig, José, Dr. phil., Prof. (Archäologie, Universität Genf), 12, chemin des Manons, CH-1218 Grand Saconnex, Genf/Schweiz
- Elbern, Victor H., Dr. phil., Honorarprof., (Kunstgeschichte, Freie Universität Berlin), Ilsensteinweg 42, 1000 Berlin 38
- Gaiser, Konrad, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Tübingen), Leimgrube 3, 7401 Nehren
- Garrigues, Marie-Odile, Dr. phil., Prof. (Philosophie und Theologie), Via San Damaso 49, I-00165 Rom/Italien
- Goetting, Hans, Dr. phil., Prof. (Historische Hilfswissenschaften, Universität Göttingen), Waitzweg 7, 3400 Göttingen
- Narkiss, Bezalel, Dr. phil., Prof. (Department of Art History u. Dir. des Index of Jewish Art, Hebrew University Jerusalem), The Hebrew University, Jerusalem/Israel
- Peroni, Adriano, Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Florenz), Via Lungo L'Affrico 164, I-50137 Firenze/Italien
- Rambaldi, Enrico, Dr. phil., Prof. (Philosophie, Universität Mailand), Via Monte Bianco 36, I-20149 Milano/Italien

- Raupach, Hans, Dr. jur. habil., Prof. em. (Soziologie, Universität München), GroffstraÙe 20, 8000 München 19
- Rosen, Stanley, Dr. phil., Prof. (Philosophie), Pennsylvania State University, 1256 South Garner Street, State College, Pennsylvania 16801/USA
- Schnath, Georg, Dr. phil., Prof. em. (Nieders. Landesgeschichte, Universität Göttingen), WiesenstraÙe 16, 3000 Hannover
- Tsujimura, Koichi, Dr. phil., Prof. (Philosophie, Universität Kyoto), Sakyoku, Kamitakano, Higashida-cho 12, J-606 Kyoto/Japan
- Voppel, Götz, Dr. rer. pol., Prof. (Wirtschafts- und Sozialgeographie, Universität Köln), NeckarstraÙe 58, 5000 Köln 90
- Zeitler, Rudolf, Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte, Universität Uppsala), Regngatan 16, S-75431 Uppsala/Schweden

